UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

MODELIZACIÓN DE LA PENALIZACIÓN DEL
TRANSBORDO EN TRANSPORTE PÚBLICO

Un enfoque cualitativo y cuantitativo

- TESIS DOCTORAL -

ANDRÉS GARCÍA MARTÍNEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Máster Universitario en Sistemas de Ingeniería Civil

Madrid, 2018

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL TRANSPORTE
(TRANSyT)

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**MODELIZACIÓN DE LA PENALIZACIÓN DEL
TRANSBORDO EN TRANSPORTE PÚBLICO**

Un enfoque cualitativo y cuantitativo

ANDRÉS GARCÍA MARTÍNEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Máster Universitario en Sistemas de Ingeniería Civil

Director:

ANDRÉS MONZÓN DE CÁCERES

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Madrid, 2018

Hasta el viaje más largo comienza con un solo paso.

Proverbio japonés

Agradecimientos

Esta investigación ha sido posible gracias a las ayudas de la Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación para contratos predoctorales para la formación de doctores contemplada en el Subprograma Estatal del Talento y su Empleabilidad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016. La convocatoria de las ayudas corresponde al año 2014, financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Social Europeo.

Con estas líneas me gustaría agradecer la ayuda de todas las personas que han hecho posible la consecución de esta tesis doctoral.

En primer lugar a mi Director de tesis, Andrés Monzón, por brindarme mi primera oportunidad laboral, por su paciencia y dedicación en mi formación, y por la gran experiencia que me ha permitido disfrutar en TRANSyT.

En segundo lugar, agradecer a Rocío Cascajo sus consejos e inestimable ayuda. La considero parte fundamental de esta tesis. Hago extensivo mi agradecimiento a Sergio Jara por sus valiosas aportaciones y ayuda en la publicación de artículos, y a aquellas personas que me brindaron la oportunidad de realizar una estancia en Nueva Zelanda, que resultó una de las mejores experiencias de mi vida.

A mis compañeros de TRANSyT, que me han apoyado durante gran parte de este camino: Juan, Cristina, Paola, Fiamma, Laura, Fernando, Julio, Iria, Yang, Natalia, Samir, Elena, Patricia, Belén, Javi... A todos, gracias. Y muy en especial a Carmen, María Eugenia, Rocío, Álvaro, Sara, Andrea y Guille. Sin vosotros no hubiese sido lo mismo.

Y por último, a mi familia, pareja y amigos. A mis padres, por apoyarme desde el principio en mi carrera universitaria. A mis amigos y mi pareja, por hacerme desconectar y sonreír cada día durante todo este tiempo.

Andrés

Resumen

El porcentaje de población que vive en zonas urbanas ha aumentado en los últimos años siguiendo una tendencia creciente. Este desarrollo urbano implica que las necesidades de la población deben seguir creciendo, lo que acabará afectando a la demanda de transporte. Los patrones de viaje en zonas urbanas son cada vez más complejos y numerosos usuarios de TP necesitan realizar transbordos de un medio de transporte a otro para completar sus viajes cotidianos. Los transbordos en transporte público causan una desutilidad a los usuarios, además de los tiempos caminando y de espera adicionales. La magnitud de su impacto es un elemento esencial en el diseño de las líneas de transporte público. Actualmente, una de las prioridades en el ámbito de la movilidad urbana es reducir esta desutilidad percibida por los usuarios, con el objetivo de aumentar la demanda de transporte público.

El objetivo principal de esta tesis doctoral es desarrollar y aplicar una metodología para estimar la penalización percibida por los usuarios de transporte público al transbordar en viajes urbanos. El estudio se basa en la teoría de la elección discreta y se aplica a una muestra de datos recogidos en Madrid y Vitoria-Gasteiz. La metodología consistió, en primer lugar, en una revisión bibliográfica y en la realización de grupos focales para identificar las variables más relevantes en la percepción del transbordo. A continuación, se diseñó una encuesta piloto de preferencias reveladas y declaradas para cada caso de estudio. Los resultados permitieron diseñar la encuesta definitiva con situaciones de elección adaptadas a la casuística local. Por último, los resultados de la encuesta definitiva se utilizaron para calibrar modelos Logit con Componentes de Error.

Los resultados muestran la importancia de la percepción del transbordo y la existencia de una penalización pura por transferencia. Su impacto es comparable a un aumento de 15,2 minutos equivalentes en vehículo en Madrid (ciudad grande) y 18,4 minutos equivalentes de viaje en Vitoria-Gasteiz (ciudad mediana). Es decir, un viajero preferiría una alternativa sin transbordo más larga a otra que implique transbordar, aun cuando los tiempos caminando y de espera adicionales fueran iguales a cero.

Por otra parte, se demuestra que los tiempos de espera causan mayor desutilidad que los tiempos caminando y en vehículo cuando se realizan viajes con un transbordo, pero los tiempos caminando se perciben peor en viajes de dos transbordos. Los usuarios de transporte público también se hayan influenciados por sus hábitos de viaje, la aglomeración de personas, la climatología y el transbordo entre modos distintos.

Esta tesis doctoral contribuye al estado del arte e identifica qué aspectos se basan las decisiones de los usuarios de transporte público al utilizar rutas que implican transbordar. La tesis diseña un modo de determinar la penalización pura por transferencia, desarrollando modelos de elección específicos y metodologías de encuestas para esta finalidad, que han resultado válidos para identificar esta variable en dos casos de aplicación.

Abstract

In recent years, the percentage of the population living in urban areas has increased following an increasing trend. This urban development implies that the needs of the population must continue to grow, which will ultimately affect the demand for transport. Travel patterns in urban areas are becoming increasingly complex and many public transport users need to transfer from one mode of transport to another to complete their daily journeys. Transfers in multimodal public transport cause a disutility for users that goes beyond the additional walking and waiting times. The magnitude of this additional disutility has been proven to be an essential element in the structural design of public transport lines. Nowadays one of the priorities in the field of urban mobility is to reduce the disutility perceived by users with the aim to increase the demand for public transport.

The main aim of this doctoral thesis is to develop and apply a framework to estimate the penalty perceived by commuters when making transfers in multimodal urban trips. The framework is based on the discrete choices theory and is applied using data collected in Madrid and Vitoria-Gasteiz, Spain. The methodology consisted of a literature review and a series of focus groups to identify the most relevant variables affecting transfers perception. Then a pilot survey of revealed and stated preferences was design for each case study. The results allowed to design the definitive survey with new choice situations defined more accurately. The definitive survey was delivered and the results were used to calibrate an Error Component Model.

The results show the importance of transfers' perceptions and the existence of a pure transfer penalty. Its impact is comparable to a 15.2 increase in equivalent in-vehicle minutes in Madrid (considered a big city) and Vitoria-Gasteiz (medium city); i.e. a traveller would prefer a longer non-transfer alternative to a single transfer, even if the additional walking and waiting times is zero.

Waiting times have been found to cause more disutility than in-vehicle and walking times when only one transfer is made, but walking times are perceived more onerous when transferring twice. The findings also suggest that individuals are influenced by their daily trip habits. The model captures the effect of crowding, and transferring between bus and metro systems, which is similar to an increase of 3.6 and 3.3 minutes in equivalent in-vehicle times, respectively. The importance of the weather is also reported, with an impact of a reduction of 14.9 minutes in equivalent total travel time.

This doctoral thesis contributes to the literature and provides researchers and practitioners with a better understanding of public transport users' decision to use transfer routes. The thesis designs a framework to determine the pure transfer penalty, by developing specific choice models and survey methodologies which have been valid to identify this variable in two case studies.

Índice

PARTE I: INTRODUCCIÓN: FUNDAMENTOS Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	3
1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 Motivación de la investigación	7
1.2 Estructura del documento	9
2 ESTADO DEL ARTE Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	13
2.1 Desutilidad percibida por los usuarios de transporte público al transbordar	15
2.2 Identificación de la penalización pura por transferencia	22
2.3 Objetivos de investigación	23
3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.1 Esquema metodológico de la investigación	29
3.2 La técnica de los grupos focales	30
3.3 Encuestas de preferencias reveladas y declaradas	33
3.4 Teoría de la maximización de la utilidad aleatoria	37
3.5 Captación de encuestados con cuestionarios online	41
PARTE II: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A LOS CASOS DE ESTUDIO	47
4 DEFINICIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO	49
4.1 Elección de los casos tipo: Madrid y Vitoria-Gasteiz	51
5 GRUPOS FOCALES Y DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES DE UTILIDAD	57
5.1 Diseño y desarrollo de los grupos focales de Madrid y Vitoria-Gasteiz	59
5.2 Análisis de los grupos focales	62
5.3 Definición de las funciones de utilidad	69
6 DISEÑO Y DESARROLLO DE LAS ENCUESTAS	73
6.1 Estructura del trabajo de campo	75
6.2 Diseño, realización y resultados de las encuestas piloto	76
6.3 Diseño y realización de las encuestas definitivas	96
PARTE III: ANÁLISIS DE RESULTADOS, CALIBRACIÓN DE MODELOS Y DISEÑO DE POLÍTICAS	111
7 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS ENCUESTAS DEFINITIVAS	113
7.1 Características socioeconómicas y del viaje	115
7.2 Número de transbordos y tiempo de viaje	118
7.3 Análisis de Importancia-Satisfacción	126
7.4 Experimento de preferencias declaradas	128
8 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS MODELOS LOGIT CON COMPONENTES DE ERROR PARA MEDIR LA UTILIDAD DE LOS TRANSBORDOS EN TRANSPORTE PÚBLICO	131
8.1 Calibración de los modelos Logit con Componentes de Error	133
8.2 Análisis de resultados	138
PART IV: CONCLUSIONS, RECOMMENDATIONS AND FUTURE RESEARCH	145
9 CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH	147
9.1 Objectives compliance review	149
9.2 Conclusions and methodological achievements	152
9.3 Policy recommendations	154
9.4 Limitations and future research	156

REFERENCIAS.....	159
ANEXO I. Publicaciones derivadas de la tesis doctoral	181
ANEXO II. Aclaraciones sobre el diseño y desarrollo de las encuestas.....	211
ANEXO III. Análisis descriptivo de las encuestas piloto	217
ANEXO IV. Encuesta definitiva de Madrid	225
ANEXO V. Encuesta definitiva de Vitoria-Gasteiz	235
ANEXO VI. Calibración de los modelos Logit con Componentes de Error.....	245

Índice de Figuras

Figura 1.1. Estructura del documento y proceso de la investigación.	11
Figura 3.1. Esquema metodológico de la tesis doctoral.	30
Figura 3.2. Pasos en el diseño de un experimento de PD.	35
Figura 3.3. Relación entre los estadísticos R^2 y $\hat{R}^2$	41
Figura 3.4. Ejemplo de tarjetas repartidas en proyectos de TRANSyT	44
Figura 4.1. Localización de los casos de estudio: Madrid y Vitoria-Gasteiz.	51
Figura 5.1. Grupos focales de Madrid. Nube de palabras.	63
Figura 5.2. Grupos focales de Vitoria-Gasteiz. Nube de palabras.	63
Figura 5.3. Análisis radial de los grupos focales: características personales y del viaje.	64
Figura 5.4. Análisis radial de los grupos focales: tiempo y entorno.	66
Figura 5.5. Análisis radial de los grupos focales: transbordo y penalización pura.	67
Figura 6.1. Estructura de las encuestas y su conexión con los modelos estadísticos.	75
Figura 6.2. Puntos de reparto de la campaña de encuestas piloto de Madrid.	87
Figura 6.3. Tarjeta repartida en la campaña de encuestas piloto de Madrid.	88
Figura 6.4. Zonas de reparto de la campaña de encuestas piloto de Vitoria-Gasteiz.	90
Figura 6.5. Lógica de la caracterización del viaje de las encuestas definitivas.	102
Figura 6.6. Puntos de reparto de la campaña de encuestas definitiva de Madrid.	104
Figura 6.7. Tarjeta repartida en la campaña de encuestas definitiva de Madrid.	105
Figura 6.8. Campaña de encuestas definitiva de Madrid.	106
Figura 6.9. Tarjeta repartida en la campaña de encuestas definitiva de Vitoria-Gasteiz.	108
Figura 6.10. Zonas de reparto de la campaña de encuestas definitiva de Vitoria-Gasteiz.	109
Figura 7.1. Ocupación de los encuestados (Madrid).	115
Figura 7.2. Ocupación de los encuestados (Vitoria-Gasteiz).	116
Figura 7.3. Tipo de billete utilizado (Madrid).	116
Figura 7.4. Tipo de billete utilizado (Vitoria-Gasteiz).	117
Figura 7.5. Actividades realizadas al viajar por género y núm. de transbordos (Madrid).	117
Figura 7.6. Actividades realizadas al viajar por género y núm. de transbordos (Vitoria-Gasteiz).	118
Figura 7.7. Porcentaje de encuestados por núm. de transbordos (Madrid y Vitoria-Gasteiz).	119
Figura 7.8. Distribución de los viajes según su duración (Madrid).	120
Figura 7.9. Distribución de los viajes según su duración (Vitoria-Gasteiz).	120
Figura 7.10. Duración media de las etapas del viaje por número de transbordos (Madrid).	121
Figura 7.11. Duración media de las etapas del viaje por núm. de transbordos (Vitoria-Gasteiz)...	121
Figura 7.12. Diferencia entre la suma de tiempos de distintas etapas del viaje y tiempo total empleado de puerta a puerta (Madrid).	122
Figura 7.13. Diferencia entre la suma de tiempos de distintas etapas del viaje y tiempo total empleado de puerta a puerta (Vitoria-Gasteiz).	123
Figura 7.14. Ratio entre la suma de tiempos de distintas etapas del viaje y tiempo total empleado de puerta a puerta (Madrid).	124
Figura 7.15. Ratio entre la suma de tiempos de distintas etapas del viaje y tiempo total empleado de puerta a puerta (Vitoria-Gasteiz).	124
Figura 7.16. Actividades realizadas según el tiempo en vehículo (Madrid).	125
Figura 7.17. Actividades realizadas según el tiempo en vehículo (Vitoria-Gasteiz).	125
Figura 7.18. Análisis IPA de variables del sistema de transporte (Madrid).	127
Figura 7.19. Análisis IPA de variables del sistema de transporte (Vitoria-Gasteiz).	127

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Atributos que influyen en la percepción de la transferencia en viajes multimodales.	16
Tabla 2.2. Localización de los estudios que tratan la penalización por transbordo.....	17
Tabla 4.1. Características generales, datos socioeconómicos, climatológicos y de movilidad de Madrid y Vitoria-Gasteiz.....	53
Tabla 4.2. Coste del transbordo en Madrid y Vitoria-Gasteiz.....	54
Tabla 6.1. Utilidades de las alternativas de la encuesta piloto de Madrid.....	82
Tabla 6.2. Situaciones de elección generadas para la encuesta piloto de Madrid.....	83
Tabla 6.3. Utilidades de las alternativas de la encuesta piloto de Vitoria-Gasteiz.....	85
Tabla 6.4. Situaciones de elección generadas para la encuesta piloto de Vitoria-Gasteiz.....	85
Tabla 6.5. Análisis descriptivo de las variables del modelo MNL de Madrid.....	92
Tabla 6.6. Resultados del modelo MNL en Madrid.....	93
Tabla 6.7. Análisis descriptivo de las variables del modelo MNL de Vitoria-Gasteiz.....	94
Tabla 6.8. Resultados del modelo MNL en Vitoria-Gasteiz.....	95
Tabla 6.9. Utilidades de las alternativas de la encuesta definitiva de Madrid.....	97
Tabla 6.10. Situaciones de elección generadas para la encuesta definitiva de Madrid.....	98
Tabla 6.11. Utilidades de las alternativas de la encuesta definitiva de Vitoria-Gasteiz.....	100
Tabla 6.12. Situaciones de elección generadas para la encuesta definitiva de Vitoria-Gasteiz.....	100
Tabla 6.13. Número de respuestas de la primera ola de encuestas de Madrid.....	106
Tabla 6.14. Número de respuestas de la segunda ola de encuestas de Madrid.....	107
Tabla 6.15. Resumen de la campaña de encuestas definitiva de Madrid.....	107
Tabla 6.16. Número de respuestas de la primera ola de encuestas de Vitoria-Gasteiz.....	110
Tabla 6.17. Resumen de la campaña de encuestas definitiva de Vitoria-Gasteiz.....	110
Tabla 7.1. Importancia y satisfacción de variables del sistema de transporte (Madrid).....	126
Tabla 7.2. Importancia y satisfacción de variables del sistema de transporte (Vitoria-Gasteiz)....	126
Tabla 7.3. Porcentajes de elección en la parte de PD (Madrid).....	128
Tabla 7.4. Porcentajes de elección en la parte de PD (Vitoria-Gasteiz).....	129
Tabla 8.1. Variables incluidas en los modelos definitivos de Madrid y Vitoria-Gasteiz.....	135
Tabla 8.2. Impacto de las variables relevantes al transbordar, y su equivalencia en EIVM.....	137
Table 9.1. Good practices identified to improve the perception of transfers.....	155

***PARTE I:* INTRODUCCIÓN: FUNDAMENTOS Y
OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

1 INTRODUCCIÓN

“Los hombres geniales empiezan grandes obras, los hombres trabajadores las terminan.”

Leonardo da Vinci

Este primer capítulo presenta la introducción al documento y la motivación que lo impulsa. Es de vital importancia conocer la percepción de los usuarios de transporte público al transbordar, pues este enfoque resulta clave a la hora de diseñar y gestionar redes de transporte público. Al final de este capítulo se presenta, de forma detallada, la estructura de la tesis doctoral.

1.1 Motivación de la investigación

En los últimos años, el porcentaje de población que vive en zonas urbanas ha aumentado siguiendo una tendencia creciente. En 2014, un 46% de los residentes de los países pertenecientes a la OECD vivía en ámbito urbano (OECD, 2016). Este fenómeno se conoce como desarrollo urbano, y se define como el movimiento de población de áreas rurales a ciudades. Esta redistribución geográfica está fuertemente relacionada con el crecimiento económico (Henderson y Venables, 2009; Liu et al., 2015). Naciones Unidas estimó que la población que residirá en ciudades en 2050 aumentará un 15% (United Nations Population Division, 2008). El desarrollo urbano puede manifestarse mediante una expansión y dispersión urbana (comúnmente conocida como *urban sprawl* en inglés), o bien mediante densificación urbana. En la actualidad, la Unión Europea (European Union, 2011) todavía considera que *“las ciudades deben desempeñar un papel fundamental en el desarrollo territorial de Europa, adoptando una estructura de densificación urbana con una expansión urbana limitada”*.

Los países europeos han experimentado un incremento de la dispersión urbana en los últimos años, y se espera que esta tendencia se mantenga en el futuro (EEA, 2016). En España, la dispersión urbana se ha incrementado un 16% en los últimos años, siendo el tercer país de Europa en este sentido.

El desarrollo urbano implica que las necesidades de la población en materia de negocios, cultura, comunicaciones y movilidad sigan creciendo, incrementando la demanda de transporte. En 2014, el 64% de viajes-kilómetro totales se realizó en entornos urbanos y se espera que su valor se triplique en 2050 (Van Audenhove et al., 2014). Numerosos estudios han concluido que la dispersión urbana tiene implicaciones medioambientales, económicas y sociales: (1) mayor consumo de energía y emisiones por persona (Kenworthy et al., 1999; Jones y Kammen, 2014); (2) mayor contaminación atmosférica, acústica y lumínica (Bart, 2010; Bennie et al., 2014; Moudon, 2009); (3) problemas de salud (Frumkin et al., 2004); (4) una reducción en las interacciones sociales (Frumkin et al., 2004); y (5) mayor coste de servicios públicos por persona (Pauliuk et al., 2014). La expansión urbana también tiene efectos perjudiciales relacionados con el transporte y la movilidad: (1) mayores costes de movilidad por vivienda (Travisi et al., 2010); (2) mayores costes asociados a congestiones de tráfico (Cinyabuguma y McConnell, 2013); (3) mayores tiempos de viaje en trayectos cotidianos (Sultana y Weber, 2007; 2014); y (4) un incremento de la demanda de transporte, acentuando el uso del coche particular y los costes de la infraestructura de transporte público (TP) (Kenworthy et al., 1999; May et al., 2005).

Este escenario de desarrollo urbano, y, en concreto, de dispersión urbana, plantea grandes desafíos para urbanistas y planificadores de transporte. Las ciudades con una densidad de población baja encuentran problemas para alcanzar el equilibrio calidad-sostenibilidad del TP (Alonso et al., 2015), ya que su nivel de accesibilidad es menor si se compara con ciudades densas (Saghapour et al., 2016). De Graaff et al. (2012) afirmaron que la distribución de la población influía sobre los patrones de movilidad y, por tanto, sobre la disposición de la población a viajar en TP y sus percepciones sobre el mismo.

Los patrones de viaje en zonas urbanas son cada vez más complejos y numerosos usuarios de TP necesitan realizar transbordos de un medio de transporte a otro para completar sus viajes cotidianos (Jang, 2003; Monzon y Di Ciommo, 2016). Por ello, existe la necesidad de optimizar el diseño de redes de transporte en general, y de redes de TP en particular, estudiando la disposición espacial de las líneas de transporte con el fin de analizar si las transferencias se realizan eficientemente. Los viajes unimodales y multimodales en grandes ciudades generalmente implican realizar transbordos, dividiendo el viaje en varias etapas. Este hecho puede entenderse como la necesidad –o decisión– de un usuario de cambiar de un medio de transporte a otro como parte de un viaje completo. Esta acción se realiza en puntos donde varias líneas de TP confluyen como parte del diseño de la red de transporte. Una disposición radial de la red de TP o una disposición en líneas de entrada y troncales obligan a un grupo de usuarios a transbordar, al contrario que en una red directa (Fielbaum et al., 2016). Los puntos de transbordo ocasionan un problema adicional al diseñar estaciones de autobús, metro ligero, metro o cercanías, ya que numerosos usuarios necesitan transbordar para completar sus viajes (Jang, 2003; Hernandez et al., 2016).

El transbordo supone una incomodidad para los usuarios (Guo y Wilson, 2011; Schakenbos et al., 2016). En la actualidad, una de las prioridades en el ámbito de la movilidad urbana es reducir esta desutilidad percibida, ayudando así a aumentar la demanda de TP (European Commission, 2013). Por otra parte, si se reducen las barreras asociadas al transbordo se puede aumentar el atractivo de una red de TP en comparación con el coche particular (Nielsen y Lange, 2007). Por tanto, el hecho de comprender las actitudes y percepciones de los usuarios sobre los transbordos en TP es crucial para lograr una red de transporte público óptima.

La penalización percibida al transbordar se compone principalmente del tiempo caminando, del tiempo de espera, y de una penalización extra asociada al mero hecho de transbordar, definida como *penalización pura por transferencia* (Iseki y Taylor, 2009). La literatura es extensa sobre los dos primeros componentes pero, sin embargo, no existe un acuerdo común sobre las variables que forman parte del tercero y su impacto en situaciones de elección de ruta. Asimismo, la literatura apenas analiza la percepción del transbordo en ciudades con menos de 500.000

habitantes, ni las diferencias entre viajes que implican transbordar en una o más ocasiones.

La **motivación** de la presente tesis doctoral surge de la **necesidad de entender los factores objetivos y subjetivos que influyen en la penalización del transbordo**. Se persigue desarrollar y aplicar una metodología que permita estimar la desutilidad percibida por los usuarios de TP en sus viajes cotidianos, desagregada por los componentes del transbordo. Asimismo, pretende discernir las diferencias más significativas entre ciudades con diferentes características. Los resultados de la tesis facilitarán que tanto investigadores como planificadores de transporte conozcan qué variables influyen en la percepción del transbordo, y comprendan la decisión de los usuarios en situaciones de elección de ruta. Finalmente, la tesis servirá como herramienta para evaluar la planificación de redes de TP y optimizar las transferencias entre medios de transporte.

La investigación se enmarca en el proyecto TRANSFER, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y, en concreto, por el Programa de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad.

1.2 Estructura del documento

La investigación se estructura en 4 partes y 9 capítulos, que se identifican con fases necesarias definidas por la metodología propuesta (ver Capítulo 3). La Figura 1.1 muestra la estructura del documento y el proceso de la investigación.

PARTE I: Introducción: fundamentos y objetivos de investigación.

En primer lugar, se presentan los antecedentes y la motivación que dan lugar a la realización de la tesis doctoral (Capítulo 1). En el Capítulo 2 se detalla el estado del arte de la percepción de los transbordos por usuarios de TP y, en concreto, de la penalización pura por transferencia. Este capítulo concluye con los objetivos y preguntas de investigación. El Capítulo 3 presenta la metodología de la investigación, detallando la técnica de los grupos focales, encuestas de preferencias reveladas y declaradas, la teoría de la maximización de la utilidad aleatoria y el método de captación de encuestados.

PARTE II: Aplicación de la metodología a los casos de estudio.

La parte II describe el proceso de obtención de la base de datos sobre la que se apoya la fase final de la investigación. En el Capítulo 4 se detalla la elección de los casos de estudio, presentando sus características socioeconómicas y de movilidad. A continuación, el Capítulo 5 muestra el desarrollo y resultados principales de los grupos focales realizados en los casos de estudio, que suponen el punto de partida para la definición de las funciones de utilidad. Estas funciones son la base para la

estimación de la penalización percibida al transbordar. El Capítulo 6 está enfocado al diseño y realización de las campañas de encuestas piloto y definitiva.

PARTE III: Análisis de resultados, calibración de modelos y diseño de políticas.

En la Parte III se analizan los resultados de las encuestas definitivas y modelos estadísticos, contruidos a partir de los datos obtenidos con las primeras. El Capítulo 7 muestra el análisis descriptivo de las encuestas definitivas, que asiste al proceso de calibración de modelos. El Capítulo 8 recoge el análisis de estos, que son capaces de cuantificar la penalización percibida por usuarios de TP al transbordar.

PARTE IV: Conclusiones, recomendaciones y líneas de investigación futuras.

El Capítulo 9 muestra las conclusiones de la investigación. De acuerdo con las normas de redacción de tesis doctorales de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), este capítulo se redacta en inglés. En primer lugar, se presenta la revisión del grado de cumplimiento de los objetivos y preguntas de investigación. A continuación, se detallan las principales conclusiones y recomendaciones de gestión para la mejora del TP y el fomento de la multimodalidad. Por último, se muestran las limitaciones del estudio y las líneas de investigación futuras.

REFERENCIAS Y ANEXOS

El apartado de referencias incluye los artículos científicos, documentos, informes de proyectos, etc. consultados en esta investigación. En la parte final del documento se incluyen seis anexos con las publicaciones derivadas de la investigación, aclaraciones sobre el diseño y desarrollo de las encuestas, el análisis descriptivo de las encuestas piloto, las encuestas definitivas y el proceso de calibración de los modelos estadísticos.

Figura 1.1. Estructura del documento y proceso de la investigación.

2 ESTADO DEL ARTE Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

“Hay que perseverar y, sobre todo, tener confianza en uno mismo.”

Marie Curie

Este capítulo contiene una revisión literaria sobre estudios relacionados con la percepción del transbordo. En primer lugar, se presentan las variables relevantes, agrupadas por categorías. A continuación, se profundiza en las investigaciones sobre la influencia del número de transbordos y del tipo de ciudad en la percepción de la transferencia. El capítulo concluye con los objetivos –y preguntas– de la tesis doctoral.

2.1 Desutilidad percibida por los usuarios de transporte público al transbordar

La minimización del transbordo es crucial en un viaje, ya que permite que el sistema de TP sea multimodal e integrado, aumentando así su zona de cobertura y mejorando la eficiencia de la operación (Jara-Díaz et al., 2012; Liu et al., 1997). De esta forma, las transferencias se pueden estudiar como parte de la experiencia del viaje (Carreira et al., 2013; Carreira et al., 2014), en el que las dimensiones subjetivas desempeñan un papel distinto en la *experiencia de transbordar* (Friman, 2010; Jensen, 2012). Los usuarios del sistema de TP perciben las transferencias como una penalización o desutilidad (Guo y Wilson, 2011; Schakenbos et al., 2016), ya que les supone interrumpir su viaje (Bruun, 2007; Navarrete y Ortúzar, 2013).

El concepto de penalización percibida al transbordar se ha abordado en numerosos estudios, pero solo recientemente, en la última década. Según Currie (2005), la penalización por transbordo supone un coste extra en el coste total generalizado de un viaje en TP. Guo (2003) la define como la diferencia de desutilidad entre una ruta con un transbordo y una ruta sin transferencia. Otros autores la consideran como el coste extra causado por el esfuerzo adicional requerido para realizar una transferencia de un medio de transporte a otro (Horowitz y Zlosel, 1981). Según Iseki y Taylor (2009), la desutilidad percibida está formada por tres elementos claramente diferenciados: (1) el tiempo caminando, (2) el tiempo de espera y (3) una penalización por el simple hecho de transbordar, denominada *penalización pura por transferencia*. Algunos estudios desagregan la desutilidad percibida por cada uno de los dos primeros componentes (Bruun, 2007; Ceder et al., 2013a; Currie, 2005; Guo y Wilson, 2011; Liu et al., 1997; Navarrete y Ortúzar, 2013; Raveau et al., 2014), mientras que otros consideran la penalización por transbordo en su conjunto, sin diferenciar entre el tiempo de espera y caminando (Douglas y Jones, 2013; Schakenbos et al., 2016). La literatura ha identificado también las variables que influyen en el tercer elemento (Douglas y Jones, 2013; Iseki y Taylor, 2009; Wardman y Hine, 2000), pero aún no se ha cuantificado su impacto. Cabe destacar que, a pesar de que la mayoría de investigaciones proponen medidas que intentan minimizar la desutilidad percibida por los usuarios cuando transbordan, no se puede, o es muy difícil, evitar la desutilidad producida por el tercer elemento: la penalización pura por transferencia (en inglés: “*pure transfer penalty*”).

Otros autores, en cambio, consideran que la desutilidad de un viaje se compone de otros tres elementos: costes de viaje, tiempo de viaje y esfuerzo (Hoogendoorn-Lanser, 2005; Horowitz y Thompson, 1994; van Hagen, 2011). Respecto a la anterior descomposición, estos autores consideran un nuevo componente –costes de viaje–, mientras los dos últimos –tiempo de viaje y esfuerzo– son equivalentes a la suma de

los tiempos caminando y de espera, y la penalización pura por transferencia, respectivamente.

En esta investigación se adopta el primer criterio, seguido por Iseki y Taylor (2009). La razón es que, progresivamente, es más común el uso de tarjetas de TP en un contexto de integración tarifaria, donde el coste de viaje pierde relevancia, pues la decisión de transbordar no comporta un coste extra al usuario.

Existen dos enfoques en las investigaciones realizadas hasta el momento. Algunos autores han estudiado la percepción de las transferencias entre diferentes medios de transporte y la importancia de optimizar los tiempos de transbordo en viajes multimodales (Ceder et al., 2013a; Cheng y Tseng, 2016; Guo y Wilson, 2011; Navarrete y Ortúzar, 2013; Nesheli et al., 2016); mientras que otros se han centrado en analizar la percepción de la transferencia desde diferentes perspectivas: el efecto de transbordos planificados y no planificados (Chowdhury et al., 2014), según una modelización georreferenciada (Guo, 2003), y evaluando los puntos de transferencia intermodales (Horowitz y Zlosel, 1981). La Tabla 2.1 muestra una revisión de la literatura con los atributos identificados como relevantes, agrupados por categorías y sub-categorías.

Tabla 2.1. Atributos que influyen en la percepción de la transferencia en viajes multimodales.

Categorías	Sub-categorías	Atributos	
Características personales	Socio-económico	Edad	Nivel de ingresos
		Género	
	Condición individual	Condición física	Familiaridad con la ruta/red de TP
Características del viaje	Viaje habitual	Frecuencia del viaje	Frecuencia de uso de TP
		Modo habitual	Realización habitual de transbordos
	Viaje actual	Motivo de viaje	Tener prisa/llegar tarde
		Llevar bolsas/equipaje	Disponibilidad de información en tiempo real
		Viajar solo/acompañado	Realización de actividades durante el viaje
		Hora del día	
Tiempo	Tiempo de espera	Tiempo de espera en transbordo	Actividad/inactividad durante tiempo de espera
		Tiempo de espera inicial	
	Tiempo caminando	Tiempo caminando en transbordo	Tiempo final caminando
		Tiempo inicial caminando	
	Otros tiempos	Tiempo total de viaje	Tiempo en vehículo
		Tiempo total de transbordo	Ahorro de tiempo
Entorno	Entorno	Comodidad	Intercambiador
		Seguridad	Aglomeración de personas
		Paradas con estructura techada	Climatología
		Información	
Características del transbordo	Características de la estación	Cambio de nivel al transbordar	Distancia caminando en transbordo
		Escaleras mecánicas/ascensores	
	Características del servicio	Transbordo entre modos distintos	Posibilidad de subir al vehículo siguiente
		Coordinación entre servicios	Fiabilidad
		Retraso en los servicios de correspondencia	
	Características del transbordo	Precio y sistema de tarificación	Posición del transbordo en el viaje
		Ruta más directa	Número total de transbordos en el viaje
Penalización pura		Penalización pura por transferencia	

Cabe destacar que la **literatura estudia exclusivamente viajes con un transbordo**. Por tanto, **se desconoce el impacto de los atributos anteriores en rutas que impliquen transbordar en más de una ocasión**. En el caso de redes complejas de transporte, con un ratio elevado de transbordos por viaje, resulta esencial cuantificar el efecto de las variables relevantes en cada una de las interrupciones del viaje.

Por otra parte, las penalizaciones asociadas al transbordo varían entre ciudades (Iseki y Taylor, 2009). No es posible extrapolar las preferencias hacia un medio de transporte de una población a otras ciudades con características similares, pues en cualquier caso presentarían diferencias según la población estudiada, los sistemas de transporte existentes o la experiencia previa de los usuarios (Orro et al., 2016). La Tabla 2.2 muestra los estudios más relevantes sobre transbordos recogidos en el estado del arte, indicando el lugar donde se han llevado a cabo, junto con su población y densidad.

Tabla 2.2. Localización de los estudios que tratan la penalización por transbordo.

Fuente	Área urbana	País	Población (millones)*	Densidad (hab/km ²)*
Carrel et al. (2013)	San Francisco-San José, CA	Estados Unidos	5,95	2.100
Ceder et al. (2013a, 2013b)	Auckland	Nueva Zelanda	1,37	2.500
Cheng y Tseng (2016)	Kaohsiung	China	2,54	7.000
Chowdhury, Ceder y Sachdeva (2014)	Auckland	Nueva Zelanda	1,37	2.500
Chowdhury y Ceder (2013a, 2013b, 2013c)	Auckland	Nueva Zelanda	1,37	2.500
de Kiezer et al. (2015)	Ámsterdam	Países Bajos	1,63	3.200
Douglas y Jones (2013)	Sídney, NSW	Australia	4,07	1.900
Dziekan (2008)	Estocolmo	Suecia	1,56	3.700
Guo (2003); Guo y Wilson (2007)	Boston, MA-NH-RI	Estados Unidos	4,49	800
Guo y Wilson (2011)	Londres	Reino Unido	10,35	5.600
Iseki y Taylor (2010)	Los Ángeles, CA	Estados Unidos	15,13	2.400
Liu et al. (1997)	New York, NY-NJ-CT	Estados Unidos	21,44	1.700
Navarrete y Ortúzar (2013)	Santiago	Chile	6,26	6.400
Nesheli et al. (2016)	Auckland	Nueva Zelanda	1,37	2.500
	Lyon	Francia	1,63	1.400
Raveau et al. (2014)	Santiago	Chile	6,26	6.400
Schakenbos (2014); Schakenbos et al. (2016)	Ámsterdam	Países Bajos	1,63	3.200
	Eindhoven	Países Bajos	0,34	2.200
	Rotterdam-Hague	Países Bajos	2,66	2.700
	Utrecht	Países Bajos	0,68	2.400
Townsend y Cherry (2012)	Bangkok	Tailandia	15,31	5.900
Wardman et al. (2001)	Edimburgo	Escocia	0,50	3.800

(*) Fuente: Demographia, 2016.

La bibliografía existente no aborda la percepción sobre los transbordos en ciudades medianas. Los estudios expuestos en epígrafes anteriores comparten el hecho de que se realizaron en ciudades XL con más de 500.000 habitantes, según Dijkstra y Poelman (2012) y su nueva definición de ciudades de la OCDE. Solo dos

estudios se realizaron en ciudades L (más de 250.000 habitantes y menos de 500.000) y únicamente uno consideró una ciudad M (más de 100.000 habitantes y menos de 250.000). No obstante, este último cuantificó conjuntamente la penalización por transferencia sin diferenciar entre los componentes del transbordo. Por tanto, **no hay evidencia científica suficiente de la desutilidad de los transbordos en ciudades medianas.**

A continuación, se profundiza en cada una de las seis categorías de atributos identificadas en la Tabla 2.1: características personales, características del viaje, tiempo, entorno, características del transbordo y penalización pura.

2.1.1 Características personales

Iseki y Smart (2012) muestran que las características personales y del viaje influyen sobre la percepción de los transbordos. La edad, el género y el nivel de ingresos se identifican como variables socioeconómicas relevantes en varios estudios (Chowdhury y Ceder, 2013a; Chowdhury y Ceder, 2013b; Chowdhury et al., 2014; Raveau et al., 2014; Schakenbos, 2014; Wardman y Hine, 2000). La edad está relacionada con limitaciones físicas y/o cognitivas (Gwyther y Holland, 2014), pudiendo influir negativamente en la percepción de las barreras del transbordo (Broome et al., 2013; Emmerson et al., 2013; Hancock y Rausch, 2010). De esta forma, los usuarios de TP de mayor edad necesitan de una accesibilidad también mayor (Murray, 2015). El género influye en los tiempos caminando, provocando una desutilidad adicional a las mujeres equivalente a 1,27 veces a la producida a los hombres (Navarrete y Ortúzar, 2013). Por último, Chowdhury y Ceder (2013a) concluyen que los usuarios con un mayor nivel de ingresos otorgan un valor más alto al coste del tiempo, causando un impacto negativo en la percepción de los tiempos de espera.

En esta categoría también se identifica como relevante la condición individual, formada por la condición física y la familiaridad con el sistema de TP, que dependen del individuo y sus percepciones y preferencias personales (Iseki y Taylor, 2009). El primer componente, la condición física, influye en la percepción del tiempo y distancia caminando (Iseki y Taylor, 2009), mientras que el segundo influye sobre los tiempos caminando y de espera. Según la Teoría del Comportamiento Planificado (TCP), los usuarios manifiestan una mayor intención de elegir rutas con transbordos cuando tienen control sobre la situación (Chowdhury y Ceder, 2013a). Los usuarios habituales de TP, con conocimiento de la ruta o de la red completa de TP, dan una importancia menor a los tiempos caminando y de espera que aquellos que no lo tienen porque les supone una mayor incertidumbre (Woyciechowicz y Shliselberg, 2005). La familiaridad con el sistema de TP también mejora la orientación espacial y, por tanto, la percepción y uso de rutas con transbordos (Dziekan, 2007).

2.1.2 Características del viaje

Los factores que más aparecen en la literatura son la frecuencia de uso de TP, el motivo de viaje, el modo habitual, si el usuario lleva equipaje y si tiene prisa o llega tarde a su destino. De los anteriores, la frecuencia de uso de TP es el más citado. Este atributo está relacionado directamente con la familiaridad de la red de TP del epígrafe anterior. Guo y Wilson (2007) sugirieron que los usuarios frecuentes de TP tienden a estar más familiarizados con la red y los servicios existentes y, por lo tanto, son menos propensos a enfrentarse a situaciones de incertidumbre cuando transbordan.

La disponibilidad de información (estática en puntos de intercambio o en tiempo real en estaciones o a través de aplicaciones móviles) también se ha identificado como un factor relevante en la percepción de la transferencia (Atkins y Polak, 1997; Hess et al., 2004; Iseki y Taylor, 2009; Navarrete y Ortúzar, 2013; Smith y Wheat, 2012). La existencia de información en tiempo real contribuye a que los usuarios viajen eficientemente (Daskalakis y Stathopoulos, 2008; Lappin, 2000; Monzon et al., 2013; Tang y Thakuriah, 2012), ya que estos pueden gestionar el tiempo de espera y, además, reduce la ansiedad y aumenta la sensación de seguridad personal. Un nivel satisfactorio de información reduce el tiempo percibido por los usuarios (Hernandez, 2015), a la vez que aumenta la percepción de control. Según la TCP, la intención de un usuario de viajar en rutas con transbordos aumenta si su percepción del control es mayor (Chowdhury y Ceder, 2013a; Chowdhury y Ceder, 2013b).

Iseki y Taylor (2009) identificaron que una frecuencia baja del servicio influye en la decisión de los usuarios de controlar su llegada a estaciones o paradas, con el objetivo de reducir el tiempo de espera. En cuanto al modo, es necesario distinguir entre viajes en autobús o metro, pues las penalizaciones no se perciben homogéneamente (Townsend y Cherry, 2012). La penalización es mayor en transbordos entre un medio ferroviario y otros, que entre tren y tren (Palmer et al., 2011). Raveau et al. (2014) identificaron dos nuevos factores que se perciben negativamente al transferir en metro en Santiago de Chile: el número de estaciones y la distancia en el mapa físico.

Las actividades realizadas durante el viaje también pueden influir en la utilidad percibida (Rasouli y Timmermans, 2014). Por ejemplo, leer y escuchar música conducen a una evaluación más positiva de un viaje en PT (Varotto et al., 2017). Sin embargo, se desconoce el impacto de estas actividades en términos de utilidad en las diversas etapas de un viaje: tiempo caminando, de espera y en vehículo.

Wardman y Hine (2000) detectaron la importancia del motivo de viaje, viajar en compañía y llevar equipaje. En el primer caso, los usuarios que viajan por motivos de trabajo otorgan al tiempo un valor inferior a los turistas. Los usuarios que viajan

acompañados suelen valorar las estaciones de transporte de forma más negativa que los que viajan solos. Por último, los usuarios con equipaje son más sensibles al tiempo, pues generalmente su última etapa del viaje tiene un horario de salida fijo y sufren ansiedad por la posibilidad de llegar tarde.

2.1.3 Factores relacionados con el tiempo

El tiempo es el factor más citado en la literatura, al ser uno de los principales elementos que aumentan la desutilidad percibida al transbordar (Abrantes y Wardman, 2011; Shires y de Jong, 2009). Los primeros estudios ya consideraban los tiempos caminando, de espera y en vehículo como componentes de la penalización por transferencia (Horowitz y Zlosel, 1981; Liu et al., 1997). Estos tiempos deben minimizarse para que el TP se convierta en una alternativa de transporte más atractiva (Iseki y Taylor, 2009). Entre ellos, los usuarios de TP perciben una desutilidad mayor de los tiempos fuera del vehículo –caminando y de espera– (Ceder et al., 2013b; Iseki y Taylor, 2009). De estos, se debe prestar especial atención al tiempo de espera ya que su desutilidad es del orden de dos veces la del tiempo caminando (Navarrete y Ortúzar, 2013). El transbordo deja de ser eficiente cuando supera los 8 minutos, pues además del tiempo de transferencia aparece una penalización adicional disuasoria (de Keizer et al., 2015).

Los tiempos reales caminando y de espera se pueden medir objetivamente, pero no ocurre lo mismo con su percepción (Bronzaft et al., 1976; Lacy y Bonsall, 2001; Reynolds y Hixson, 1992; Woyciechowicz y Shliselberg, 2005). Algunos de los factores que explican este fenómeno se encuentran fuera del control del viajero, como la frecuencia del servicio, las condiciones meteorológicas y la seguridad, que influyen en la percepción del tiempo de espera (Dziekan, 2008; Dziekan y Vermeulen, 2006; Horowitz y Thompson, 1995; Iseki y Taylor, 2009). La inactividad mientras un usuario espera al siguiente vehículo también se ha identificado como un factor relevante. En este sentido, los usuarios perciben una desutilidad mayor cuando el tiempo de espera es improductivo (Dziekan y Vermeulen, 2006; Iseki y Taylor, 2009; Moreau, 1992), lo que podría explicar las diferencias observadas entre la percepción de los tiempos caminando y de espera.

2.1.4 Factores relacionados con el entorno

En esta categoría se identifican atributos como la comodidad, la seguridad y la aglomeración de personas. Wardman y Hine (2000) concluyeron que el valor asociado al tiempo de transbordo depende directamente de la comodidad y seguridad del entorno. Otros autores demostraron que la seguridad en las estaciones e intercambiadores influye positivamente en la percepción del tiempo de espera percibido (Dziekan, 2008; Horowitz y Thompson, 1995; Iseki y Taylor, 2009).

Una frecuencia reducida, unida a la fiabilidad del servicio y seguridad del entorno produce un efecto positivo en la percepción del tiempo por parte del usuario mientras que otras, como las características físicas de una estación o parada, apenas influyen (Iseki y Taylor, 2010). Por otra parte, cabe distinguir entre viajeros que se mueven dentro de una estación, que otorgan una relevancia mayor a su funcionalidad y a la velocidad a pie, y aquellos que permanecen estáticos mientras esperan, donde la comodidad y la familiaridad con la estación son más importantes (van Hagen, 2011). Ambos tipos de viajero comparten la importancia de viajar de forma fiable, segura y rápida.

La aglomeración de personas produce una desutilidad a los usuarios de TP en los puntos de transbordo –intercambiadores, estaciones y paradas– (Navarrete y Ortúzar, 2013; Raveau et al., 2014; Wardman y Hine, 2000). Este atributo se percibe como un incremento subjetivo de los tiempos caminando y de espera en estaciones colapsadas, duplicando la desutilidad por minuto si se compara con una situación de ocupación media (Douglas y Karpouzis, 2005). Asimismo, la aglomeración de personas influye sobre la salud y el bienestar de los pasajeros, provocando un aumento del estrés y ansiedad, y un incremento de la percepción de agotamiento y falta de seguridad personal (Tirachini et al., 2013).

La disponibilidad de información en los puntos de transferencia puede minimizar significativamente la penalización percibida, pues evita que el usuario se desoriente, reduciendo su estrés e incertidumbre (Iseki y Taylor, 2009). En esta línea, los usuarios valoran la información, aunque dan más importancia a cómo se integra físicamente en la estación (Chowdhury et al., 2014).

Por último, las condiciones climatológicas también influyen en la desutilidad percibida. En caso de ser adversas, aumentan la percepción del tiempo de espera (Iseki y Taylor, 2009).

2.1.5 Características del transbordo

La revisión literaria identifica atributos referidos a las características inherentes del transbordo, como el hecho de que la transferencia se realice o no al mismo nivel, la existencia de escaleras mecánicas o ascensores, y los modos de transporte utilizados. Los transbordos al mismo nivel en medios ferroviarios producen una penalización menor que las transferencias que requieren un cambio de nivel a través de escaleras, escaleras mecánicas o ascensores (Douglas y Jones, 2013; Guo y Wilson, 2011; Wardman y Hine, 2000). En caso de que el cambio de nivel sea inevitable, los usuarios prefieren descender a ascender, ya que la acción de subir está asociada a realizar un mayor esfuerzo (Raveau et al., 2014).

La penalización subjetiva asociada a una transferencia entre autobús-tren casi dobla a la de una transferencia ferroviaria (Douglas y Jones, 2013). La disponibilidad de

asientos influye positivamente en la valoración general del transbordo (Hernandez, 2015; Hine y Preston, 2003). La fiabilidad del servicio y la disponibilidad de información incrementan la autoeficacia (capacidad propia para gestionar una situación) del usuario y su percepción de control, aumentando así su predisposición e intención de utilizar rutas con transferencias (Atkins y Polak, 1997; Carrel et al., 2013; Ceder et al., 2013a; Hess et al., 2004; McCord et al., 2006; Smith y Wheat, 2012).

2.2 Identificación de la penalización pura por transferencia

Los epígrafes anteriores muestran que los estudios sobre la percepción del transbordo han sido numerosos en las últimas décadas. Sin embargo, sólo unos pocos consideran la penalización pura como un elemento esencial de la transferencia. Este concepto fue identificado por Currie (2005) e Iseki y Taylor (2009), quienes afirmaron que la penalización pura por transferencia es independiente de los tiempos caminando y de espera, y dependiente de otros factores como la disponibilidad de información adecuada, seguridad, comodidad, familiaridad con la red de TP, y el hábito y frecuencia de uso. Incluso en el caso de un transbordo ideal, suponiendo que los tiempos caminando y de espera fueran iguales a cero, los usuarios percibirían una penalización pura por transferencia (Currie, 2005; Douglas y Jones, 2013; Iseki y Taylor, 2009). En este mismo sentido, Wardman y Hine (2000) consideraron la transferencia como una penalización en sí misma, independiente del tiempo de espera.

La literatura enfoca el estudio de la penalización pura por transferencia tratando de identificar qué variables tienen mayor influencia. Entre estas, la más citada es el modo de transporte. Los usuarios prefieren los transbordos entre metro-metro a las transferencias entre autobuses (Currie, 2005; Iseki y Taylor, 2009; Liu et al., 1997; Navarrete y Ortúzar, 2013; Palmer et al., 2011; Wardman et al., 2001). La familiaridad con una estación o un transbordo en particular, y una frecuencia y fiabilidad reducidas también penalizan las rutas con transferencias independientemente del tiempo caminando y de espera (Wardman, 2001). Los problemas de fiabilidad, la falta de información sobre las conexiones de transporte y la seguridad personal contribuyen a incrementar la inquietud de los usuarios de TP (Cheng, 2010; McCord et al., 2006). Las estaciones de una red de TP presentan una amplia variabilidad de las penalizaciones asociadas al transbordo (Guo y Wilson, 2004; Wardman et al., 2001), debido a cambios de nivel al transbordar, y a la existencia de escaleras mecánicas y ascensores (Douglas y Jones, 2013; Raveau et al., 2014). De la revisión literaria se extrae que algunos factores afectan a más de una de las categorías y variables identificadas. Por ejemplo, un transbordo que implique un cambio de nivel influiría sobre el tiempo caminando, pues los usuarios caminan más lento en las escaleras. También afectaría a la percepción del tiempo

caminando, ya que existe una penalización asociada con el esfuerzo adicional requerido al cambiar de nivel. Y, finalmente, también haría lo propio con la penalización pura por transferencia, ya que un cambio de nivel disuade psicológicamente al usuario de transbordar.

Cabe destacar que, de las investigaciones consultadas, un número reducido cuantifica la penalización pura. Wardman y Hine (2000) estimaron esta variable en intercambiadores asociada principalmente a los tiempos de conexión. Douglas y Jones (2013), aunque consiguieron aislar la penalización pura de los tiempos de conexión, consideraron otras variables dependientes como la intermodalidad y la familiaridad con el punto de transbordo. De Keizer et al. (2012) demostraron que los usuarios perciben una penalización que puede variar según el tiempo del transbordo, la frecuencia de la siguiente conexión y si el transbordo se realiza o no al mismo nivel. En una revisión posterior del estudio, se estimó que la penalización pura en un transbordo con 2 minutos caminando y 15 de espera es igual a 6 minutos (de Keizer et al., 2015). La penalización por transferencia es de 13 o 20 minutos si la siguiente conexión es o no puntual, respectivamente (MVA Consultancy, 1987). Recientemente, Frei et al. (2017) estudiaron alternativas con dos transbordos de un sistema de TP flexible en competencia con el coche particular, pero no tuvieron en cuenta atributos como la aglomeración de personas, información en tiempo real, etc.

Por otra parte, **se desconoce hasta qué punto la penalización pura por transferencia afecta a la elección de ruta de los usuarios de TP**. Gschwender et al. (2016) y Fielbaum et al. (2016) establecieron que la consideración de la penalización pura por transferencia es un elemento clave cuando se diseña una red de líneas de transporte en una ciudad. Por tanto, **es esencial aislar la penalización pura por transferencia de las variables dependientes con el fin de cuantificar su impacto**.

2.3 Objetivos de investigación

De acuerdo con la revisión literaria, es necesario profundizar en el estudio y la cuantificación de la penalización pura por transferencia. También es necesario investigar cómo afectan los demás componentes del transbordo. Por tanto, el primer paso consiste en identificarlos. *A priori*, las variables con una influencia significativa en el transbordo no han de ser siempre las mismas, sino que varían en cada ciudad. El primer objetivo de la tesis doctoral es el siguiente:

1- ¿Qué variables percibe un usuario de transporte público al transbordar?

Una vez identificadas estas variables, y siguiendo con la lógica expuesta en el párrafo anterior, se define el segundo objetivo:

2- ¿Cómo perciben los usuarios de transporte público cada uno de los componentes del transbordo cuando realizan un viaje unimodal o multimodal?

La cuantificación del impacto de estas variables permite aislar el componente de la penalización pura por transferencia. En el Epígrafe 2.2 se indica la importancia de estimar su valor, con independencia del resto de variables con influencia en la transferencia:

3- ¿Cuál es el impacto de la penalización pura por transferencia en la elección de ruta, considerando alternativas con y sin transbordo?

Los valores de los parámetros de los componentes del transbordo pueden variar en función de si se transborda en una o más ocasiones. En el caso de la penalización pura por transferencia, su valor debería ser mayor a medida que el número de transbordos aumenta. Los estudios revisados en el estado del arte no investigan la desutilidad percibida en viajes con más de un transbordo, lo que define el cuarto objetivo:

4- ¿Existen diferencias significativas en la percepción sobre los transbordos en función de si los viajes implican realizar uno o más transbordos?

Para responder esta pregunta es necesario definir un caso de estudio en una ciudad de gran tamaño donde los viajes con varios transbordos sean habituales. No obstante, según el Epígrafe 2.1, las características de una ciudad, como el tamaño y la densidad, influyen en la percepción del transbordo, incluida la penalización pura por transferencia. Los estudios revisados se han realizado, por lo general, en ciudades de gran tamaño. Ninguno ha abordado este tema en ciudades medianas, con menos de 250.000 habitantes. En esta línea, el quinto objetivo es el siguiente:

5- ¿Cómo influye el tamaño de una ciudad en la desutilidad percibida por los usuarios de transporte público al transbordar?

Para ello, se debe definir un nuevo caso de estudio en una ciudad mediana. Los resultados obtenidos permitirán comparar ambos casos de estudio y analizar sus similitudes y diferencias.

Para contestar a los objetivos de la investigación es necesario desarrollar una metodología que siga los pasos que se recogen a continuación:

- Revisión literaria para conocer cuáles son las variables significativas en la percepción de los transbordos, con un enfoque especial en los estudios que han tratado la penalización por transferencia pura hasta la fecha.
- Definición de los casos de estudio más apropiados para dar respuesta a las preguntas de investigación.
- Identificación de las variables que influyen a nivel local en la percepción sobre los transbordos a través de grupos focales.

- Desarrollo de una campaña de encuestas para recoger una muestra de datos extrapolable a toda la población.
- Análisis de los datos de la campaña de encuestas, identificando las variables más relevantes del transbordo descriptivamente.
- Elección de un modelo estadístico adecuado que permita cuantificar la influencia de cada uno de los componentes del transbordo, particularizando el estudio en función del número de transbordos y del tamaño de la ciudad.

Estos puntos constituyen la metodología del estudio, que se detalla en el Capítulo 3.

A modo de resumen, el **objetivo** de la tesis doctoral es **identificar las variables que influyen sobre la percepción del transbordo en TP y cuantificar la desutilidad** producida por cada una de ellas. Los objetivos de investigación pretenden dar respuesta a las **lagunas de investigación** identificadas en la revisión literaria:

La literatura no considera la **penalización pura por transferencia** como un elemento esencial del transbordo, y aún no se ha cuantificado su impacto.

El estado del arte de estudia exclusivamente viajes con un transbordo, por lo que se desconoce la **percepción de la transferencia en viajes de más de un transbordo**.

La literatura no ha abordado el estudio de la **percepción del transbordo en ciudades medianas**, con menos de 250.000 habitantes.

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La teoría es asesinada tarde o temprano por la experiencia.”

Albert Einstein

Este capítulo detalla la metodología desarrollada para conseguir los objetivos y dar respuesta a las preguntas de investigación. El Epígrafe 3.1 resume la metodología propuesta, mientras que los epígrafes siguientes explican en profundidad cada una de sus partes.

3.1 Esquema metodológico de la investigación

A fin de cumplir con los objetivos marcados en el capítulo anterior se propone la metodología de investigación basada en García (2015). La Figura 3.1 muestra la metodología seguida en la investigación. En primer lugar, es necesario identificar qué variables influyen significativamente en la percepción de los transbordos. Más tarde, se deben elegir los casos de estudio. Tras la revisión literaria y en base a ella, se propone llevar a cabo una técnica de investigación cualitativa basada en grupos focales en cada caso de estudio. Esto permite conocer las variables que influyen en la transferencia a nivel local (Capítulo 5).

Posteriormente, se han de definir las funciones de utilidad con las variables más relevantes identificadas en los pasos anteriores, según el número de transbordos en cada caso de estudio (Epígrafe 5.3). Estas funciones son necesarias para diseñar una encuesta de preferencias declaradas (PD) con situaciones de elección de ruta con transbordos.

A continuación, se diseña una encuesta piloto en cada caso de estudio, con el fin de identificar errores y problemas de comprensión, y afinar el diseño de la encuesta definitiva (Epígrafe 6.2). Los resultados de la encuesta piloto permiten calibrar un modelo estadístico para cada caso de estudio y obtener parámetros más precisos de las variables contenidas en las funciones de utilidad (Epígrafe 6.2.4). Estos constituyen la base del diseño de las encuestas definitivas (Epígrafe 6.3).

El siguiente paso consiste en realizar la campaña de encuestas definitivas en cada caso de estudio, obteniendo datos representativos de la población por género y edad. Estos datos constituyen la base de datos principal de la investigación, que sirve para estimar y calibrar modelos estadísticos (Capítulo 8). Los resultados derivados de los modelos permiten obtener las funciones de utilidad finales. Con estas se puede estimar el impacto de medidas para reducir la penalización del transbordo, aumentar la demanda de TP y fomentar la multimodalidad (Capítulo 9).

En la Figura 3.1 cabe destacar el proceso iterativo de la parte inferior derecha. Las campañas de encuestas piloto son fundamentales para generar las encuestas definitivas, adaptadas a los casos de estudio. Por ello, si se lleva a cabo la encuesta piloto, tras la calibración del modelo se deben ajustar las funciones de utilidad y volver a realizar el primer paso del proceso iterativo: diseño de la encuesta. En el caso de que los resultados obtenidos en la siguiente iteración no fueran significativos (el modelo Logit Multinomial (MNL) no estaría ajustado), se debe volver a repetir el proceso. Esto último puede deberse a que el diseño de la encuesta no es óptimo, debiendo realizarse tantas veces como se considere necesario, según el juicio del modelador. Esta parte de la metodología obedece a las directrices del desarrollo de una encuesta de preferencias declaradas (Yang et al., 2009): (1)

identificación de los atributos o variables más relevantes; (2) diseño de la encuesta de PD; (3) estudio piloto y análisis de resultados; (4) revisión de la encuesta de PD; y (5) obtención de datos a través de encuestas.

Figura 3.1. Esquema metodológico de la tesis doctoral.

A continuación, el Epígrafe 3.2 detalla la técnica de los grupos focales, que permite identificar las variables más relevantes de cada caso de estudio. El Epígrafe 3.3 muestra el estado del arte sobre las encuestas de preferencias reveladas y declaradas, con el fin de elegir qué tipo de encuesta se adapta mejor a las necesidades del estudio. El Epígrafe 3.4 analiza los tipos de modelos estadísticos más adecuados para la investigación y su calibración. Por último, el Epígrafe 3.5 explica el método de captación utilizado, basado en encuestas online.

3.2 La técnica de los grupos focales

Los métodos de investigación cualitativos se están utilizando actualmente con asiduidad, y son ampliamente reconocidos por ofrecer un enfoque de investigación consolidado en las ciencias sociales (Denzin y Lincoln, 2011). Estos métodos se basan principalmente en la realización de entrevistas y grupos focales, que son técnicas de investigación cualitativa utilizadas desde hace casi 50 años (Kitzinger, 1995; Krueger, 1997; Morgan, 1996). Desde su aplicación inicial en el campo de las ciencias sociales, los enfoques cualitativos se utilizan progresivamente con mayor frecuencia en estudios de transporte para analizar fenómenos complejos (pensamientos, actitudes, percepciones y emociones). Estos fenómenos son

difícilmente captados con métodos cuantitativos, tales como cuestionarios, pues los pensamientos y percepciones no son cuantificables (Clifton y Handy, 2003; Hine y Scott, 2000).

La literatura define el grupo focal de diversas formas, entre las que destacan:

- Grupo de personas seleccionadas y convocadas por un investigador con el propósito de discutir y comentar, desde un punto de vista individual, sobre el tema propuesto por el investigador (Powell et al., 1996).
- Tipo de entrevista grupal, que requiere entrevistar a un grupo de personas al mismo tiempo, en el que se analiza la interacción de los participantes dentro del grupo y sus reacciones al tema propuesto por el investigador (Morgan, 1997).

La técnica del grupo focal es un método de encuesta cualitativo y subjetivo que tiene un objetivo de entender y explicar un fenómeno determinado. Su función principal es obtener información sobre las opiniones de los integrantes del grupo, sus actitudes y sus experiencias sobre la temática propuesta por el investigador, o incluso conocer sus expectativas. Sus ámbitos de aplicación son los siguientes:

- Etapas preliminares o exploratorias de un estudio.
- Como modo de evaluar o definir los elementos a desarrollar en un proyecto.
- Evaluación del impacto de un proyecto o generación de nuevas hipótesis o ideas para seguir analizando sus efectos.
- Método de validación de datos.
- Exploración o generación de hipótesis, desarrollo de conceptos o preguntas para cuestionarios, y guías para entrevistas futuras.

La metodología de los grupos focales ha sido ampliamente validada, presentando las siguientes **ventajas**:

- Permite conocer pensamientos, experiencias y expectativas de los participantes.
- Sirve como ayuda a la toma de decisiones.
- Tiene un coste bajo en comparación con otros métodos de toma de datos, como campañas de encuestas.
- Es una herramienta flexible para explorar cualquier temática, permitiendo definir y entender la problemática asociada.
- Permite estructurar objetivos.
- Resulta útil en la fase de diseño de cuestionarios (Roetting et al., 2003).

No obstante, los grupos focales son una técnica cualitativa y subjetiva y, por tanto, también presentan **limitaciones**:

- Los resultados no se pueden extrapolar a la población.

- El investigador tiene menos control que en una entrevista individual.
- Complejidad en el análisis de los datos obtenidos.
- Requiere un moderador con destreza en la gestión de grupos.
- Algunos participantes pueden inhibirse al estar en grupo.
- No son totalmente anónimos, pues la información se obtiene de forma grupal.
- Se recomienda complementarlos con enfoques cuantitativos para obtener mayor información (Clifton y Handy, 2003).

Antes de desarrollar un grupo focal, se debe prestar atención a las preguntas guía, el material dirigido a estimular la conversación y a la selección de personas que van a formar parte del grupo. Generalmente se componen de 6 a 8 personas, aunque pueden estar formados por 4-10 participantes (Krueger, 1997). Se suelen programar varias sesiones según género, edad, o cualquier otra variable que permita diferenciar patrones y tendencias entre los componentes de los grupos focales. Los participantes deben ser homogéneos y desconocidos, pues la familiaridad puede inhibirlos. Las sesiones deben realizarse preferiblemente en forma de mesa redonda, frente a un micrófono o grabadora. Se debe designar un moderador con destreza en la gestión de grupos, que debe procurar no intervenir en la discusión, salvo que algún aspecto relevante no sea tratado espontáneamente por los participantes. Además del moderador, conviene contar con la ayuda de un asistente, quien se encarga de que todo funcione adecuadamente y de anotar el turno de palabra. Se recomienda planificar con antelación la celebración de las entrevistas grupales y usar una plantilla semiestructurada que recoja los factores más importantes a modo de guion (Krueger y Casey, 2014; Morgan, 1996; Tracy, 2010). Al igual que el lugar, se debe procurar que el ambiente sea relajado y permisivo para que los participantes puedan expresar libremente sus opiniones. La duración recomendada es aproximadamente de una hora y media, siendo posible prolongar la sesión hasta dos horas si la discusión se alarga de forma natural. Para fomentar la participación, y con el fin de evitar (en la medida de lo posible) el sesgo del rechazo a formar parte del grupo focal, se recomienda ofrecer algún tipo de incentivo. Krueger (2002) identificó los que ofrecen resultados satisfactorios: pago monetario, vale de comida, regalo, la oportunidad de participar en un proyecto de investigación relevante y de establecer relaciones sociales y personales.

En cuanto al análisis de los datos, deben emplearse métodos analíticos cualitativos: diagramas con la ubicación de los participantes, reuniones entre el equipo investigador para conocer sus opiniones, transcripción de las grabaciones, identificación y clasificación de las variables significativas por categorías, y selección de citas relevantes. Los resultados deben presentarse en forma de nubes de palabras con las variables más citadas, gráficos de araña y/o análisis DAFO, apoyándose en citas transcritas de los participantes.

En el sector del transporte, los métodos cualitativos permiten captar las percepciones, actitudes y emociones de los usuarios de TP, y en especial, los grupos focales (Ferrer et al., 2015; Kenyon y Lyons, 2003). Estos se han utilizado para analizar fenómenos tales como el papel del entorno en viajes cortos a pie (Ferrer et al., 2015), la oferta de información integrada y multimodal al viajero (Kenyon y Lyons, 2003), factores relacionados con la seguridad de conductores de motocicletas (Huth et al., 2014), mejoras de seguridad en autobuses escolares (Anund et al., 2010), la percepción de la vulnerabilidad en el comportamiento de conducción (Gwyther y Holland, 2014) y la promoción del transporte sostenible (Ibeas et al., 2011).

Entre los estudios que investigan la percepción del transbordo, la mayoría utilizan métodos cuantitativos, habiendo definido previamente los factores que a juicio de los investigadores son más importantes (Ceder et al., 2013a; Chowdhury y Ceder, 2013a; Chowdhury y Ceder, 2013b; Chowdhury y Ceder, 2013c; Chowdhury et al., 2014; Douglas y Jones, 2013; Liu et al., 1997). Los estudios de Navarrete (2010) y Navarrete y Ortúzar (2013) son los únicos que utilizan grupos focales previos a la aplicación de métodos cuantitativos.

La presente **investigación opta por utilizar la técnica del grupo focal antes de emplear métodos cuantitativos**, pues permite comprobar la relevancia de las variables con influencia demostrada en la percepción del transbordo e identificar otras nuevas propias de cada caso de estudio, pues la relevancia de los atributos varía entre ciudades (Iseki y Taylor, 2009).

3.3 Encuestas de preferencias reveladas y declaradas

Existen dos grandes metodologías de obtención de datos para valorar bienes y servicios basados en las preferencias de las personas: los métodos de preferencias reveladas (PR) y declaradas (PD) (Ibeas et al., 2015a; 2015b; Ortúzar y Román, 2003). El método de PR sirve para obtener datos que reflejan el comportamiento actual y real de los individuos. Las PD, en cambio, tienen el objetivo de obtener información sobre preferencias personales ante determinadas situaciones hipotéticas previamente definidas. A diferencia de las PR, se obtienen datos sobre la conducta de un individuo ante situaciones hipotéticas como, por ejemplo, el diseño de una nueva línea de autobús. Louviere et al. (1973) fueron los primeros autores que utilizaron encuestas de PD. Su relevancia fue creciendo en diversas disciplinas como marketing, transporte, sanidad, agricultura y economía medioambiental. El desarrollo de los modelos de elección discreta del sector transporte impulsó este tipo de experimentos, aunque las disciplinas que más desarrollaron esta técnica fueron el marketing y la economía. Su uso en otros campos tampoco ha disminuido,

y sigue utilizándose con asiduidad en marketing, sanidad o economía (Cherchi y Hensher, 2015).

En el sector transporte, las encuestas de PR, o convencionales, incluyen variables de las que se obtiene información preguntando directamente al encuestado. Entre sus limitaciones, destaca que las observaciones no presentan suficiente variabilidad para construir modelos que evalúen y realicen predicciones, no permiten estudiar el impacto de un nuevo modo de transporte ni la introducción de variables latentes (Ortúzar y Willumsen, 2011). Las encuestas de PD pueden resolver las limitaciones que presentan las PR. No obstante, estas encuestas también presentan algunos problemas o sesgos, que pueden clasificarse en cuatro tipos (Bradley y Kroes, 1992).

- **Sesgo de afirmación:** El participante tiende a responder lo que cree que prefiere el entrevistador.
- **Sesgo de racionalización:** El entrevistado intenta contestar de forma racional con el fin de justificar su comportamiento.
- **Sesgo de política:** El participante contesta intentando influir en las decisiones políticas, según como crea que pueden afectar sus respuestas.
- **Sesgo de no restricción:** El entrevistado no tiene en cuenta todas las restricciones que influyen en su conducta, de forma que sus respuestas no se pueden considerar totalmente reales.

En los últimos años, el interés del sector transporte por las PD se ha incrementado significativamente (Bates, 1988; Bradley y Daly, 1997; Chowdhury et al., 2015; Hensher, 1994). Este método es ampliamente utilizado para estimar la desutilidad percibida por los usuarios de TP en puntos de transferencia (Ceder et al., 2013b; Chowdhury y Ceder, 2013a; Chowdhury y Ceder, 2013b; Chowdhury y Ceder, 2013c; Chowdhury et al. 2014; Douglas y Jones, 2013; Liu et al., 1997; Navarrete y Ortúzar, 2013; Schakenbos, 2014). Las encuestas suelen incluir preguntas sobre PR, características sociodemográficas o aspectos relacionados con el viaje (Chowdhury et al., 2014; Douglas y Jones, 2013; Espino et al., 2007; Liu et al., 1997; Navarrete y Ortúzar, 2013; Schakenbos, 2014). En esta línea, Bradley y Daly (1997) destacaron la idoneidad de combinar las ventajas de los diseños de PR y PD, pues se obtiene información de mayor calidad.

En una encuesta de PD con preguntas sobre PR conviene distinguir la forma en que los individuos declaran sus preferencias. Las más comunes son jerarquización (ranking), escalamiento (rating) y elección (choice) (Ortúzar y Garrido, 2000). Por otra parte, cabe definir las variables que han de incluirse en el experimento en tres grupos, atendiendo a cómo se mostrarán o preguntarán al participante:

- **Variables de escenario,** que varían entre las situaciones de elección mostradas al encuestado. Por ejemplo, el tiempo caminando y de espera, disponibilidad de información en tiempo real, etc.

- **Variables personales**, que hacen referencia al encuestado y que no varían entre situaciones de elección, como información sobre un viaje real, el género y la edad. Solo se preguntan una vez.
- **Variables de entorno**, que no dependen del encuestado ni de las situaciones de elección, y sobre las que no es necesario preguntar, como la ciudad donde se realiza la encuesta.

La parte de PR debe incluir variables personales, procurando que el número de estas no sea excesivo para que el tiempo de finalización de la encuesta no resulte elevado. En la parte de PD, en cambio, deben incluirse variables de tipo escenario.

La Figura 3.2 muestra, en un ejemplo, los tres pasos necesarios para generar un diseño experimental de PD: modelo, diseño experimental y encuesta.

Figura 3.2. Pasos en el diseño de un experimento de PD. Adaptada de ChoiceMetrics (2014).

Los datos de entrada más importantes para diseñar un experimento de PD son las funciones de utilidad con los atributos y sus parámetros (o *priors*):

- **Funciones de utilidad.** Incluyen las variables relevantes en el fenómeno a estudiar, en base a la teoría del Epígrafe 3.4.
- **Parámetros de atributos.** Reflejan el valor del impacto de las variables de la función de utilidad en el fenómeno estudiado. Se pueden obtener de investigaciones similares, aunque siempre se recomienda realizar una encuesta piloto para determinarlos.

Además, para definir el diseño del experimento deben tomarse varias decisiones:

- **Etiquetado.** Si se incluyen alternativas con parámetros **específicos**, estas se deben etiquetar (e.g. coche, autobús, tren). Si las alternativas se definen con parámetros **genéricos** se puede evitar el uso de etiquetas (e.g. ruta A, ruta B, ruta C).

- **Elección de los atributos.** Sanko (2001) concluye que un encuestado no es capaz de valorar más que un número determinado de variables cuando se enfrenta a una elección entre modos, por lo que conviene priorizar aquellas que contribuyan en mayor grado a conseguir el objetivo principal del estudio. Se trata de llegar a un equilibrio entre un análisis preciso y asimilable. Las variables deben dividirse en función si el encuestado puede o no asimilarlas con facilidad. Las primeras pueden incluirse sin que la complejidad de la encuesta aumente, mientras que las segundas deben limitarse, pues un número excesivo podría provocar que el encuestado no las valorara correctamente.
- **Niveles de atributos.** El número de niveles a utilizar depende de la especificación del modelo. Por ejemplo, si se espera que algún atributo provoque efectos no lineales se deben utilizar más de dos niveles para estimarlos. A medida que el número de niveles sea mayor, el número de situaciones de elección generadas también será mayor. Este debe ser múltiplo del número de niveles de cada atributo.
- **Equilibrado de los niveles de atributos.** Casi todos los diseños experimentales cumplen la propiedad de equilibrio en los niveles de los atributos. Esto significa que cada nivel de atributo aparece el mismo número de veces para cada atributo.
- **Rangos de los niveles de atributos.** La literatura sugiere que, estadísticamente, es preferible usar un rango amplio (e.g. en el caso del tiempo en vehículo, 6 y 10 minutos) y no uno estrecho (e.g. 6 y 7 minutos), para mejorar la estimación de los parámetros con un error estándar más pequeño. El uso de rangos amplios puede provocar que en el experimento existan alternativas dominantes.
- **Tipo de diseño.** Desde un punto de vista teórico, el diseño con el que se pueden estimar todos los efectos de los atributos (efectos principales y de interacción) es el diseño factorial completo, que comprende todas las situaciones de elección posibles. Sin embargo, este diseño no resulta práctico, pues el número de situaciones de elección es muy elevado. Por ello, se opta por los diseños factoriales fraccionarios, que incluyen un subconjunto de situaciones de elección del diseño factorial completo, optimizando su selección. Dentro de este tipo de diseño, los más conocidos son el ortogonal y el eficiente. El primero tiene como objetivo minimizar la correlación entre los niveles de atributos en las situaciones de elección, mientras que el segundo busca diseños que sean lo más estadísticamente eficientes en cuanto a los errores estándar de los parámetros estimados. Ambos diseños tratan de obtener la máxima información posible de cada situación de elección. No obstante, se recomienda utilizar un diseño eficiente antes que uno ortogonal siempre y cuando exista información disponible sobre los parámetros de

atributos (Bradley, 2009; Louviere et al., 2000; Rose et al., 2008; Rose y Bliemer, 2009).

- El bayesiano es otro tipo de diseño conocido, con menor dependencia de la precisión de los parámetros de atributos. En lugar de suponer parámetros fijos, estos se consideran aleatorios. Bliemer y Rose (2011) aplicaron este diseño a un caso real de estudio, validando sus ventajas. No obstante, el diseño puede provocar errores significativos en la estimación de la varianza de los parámetros (Louviere et al., 2008). En caso de que los parámetros de atributos sean conocidos, se desconocen las ventajas de utilizar un diseño eficiente o bayesiano (Yang et al., 2014).
- Otros diseños vanguardistas obvian el equilibrio de los niveles de atributos e incluyen restricciones en los mismos. Su efectividad se ha demostrado con simulaciones de datos, pero aún se debe aplicar en casos de estudio reales.
- **Situaciones de elección.** En experimentos con datos de elección discreta, cada alternativa representa una única observación. El número de situaciones de elección debe ser superior al número de parámetros considerados, incluidas las constantes; y está limitado por el criterio de equilibrio de niveles de atributos. Bradley y Daly (1994) recomiendan no mostrar más de 10 situaciones de elección por encuestado. Si el número generado de situaciones de elección es superior, se debe optar por un diseño en bloques que subdivida la muestra, de forma que a cada participante se le muestre sólo uno de los bloques (Louviere et al., 2000).

En la presente tesis doctoral **se ha optado por combinar los dos métodos: PR y PD**. Por una parte, una encuesta de PR permite obtener información relevante sobre variables personales pero, por otra, no permite evaluar la desutilidad percibida al transbordar.

El diseño real de cualquier red de transporte es, generalmente, eficiente en términos de tiempo. Entre cualquier origen y destino existe una alternativa predominante sobre el resto. Esto imposibilita cuantificar la percepción del transbordo, ya que los usuarios no suelen disponer más que de una alternativa eficiente para sus viajes habituales. Pueden existir casos puntuales donde dos alternativas aporten una utilidad similar a la media de usuarios, pero en ese caso, los resultados no serían extrapolables al resto de la población. Por tanto, es necesario combinar el método de PR con el de PD, que permite plantear escenarios hipotéticos, asimilables y evaluables.

3.4 Teoría de la maximización de la utilidad aleatoria

El paso previo al diseño de una encuesta de PD consiste en definir un modelo con las variables más relevantes que influyen en el fenómeno a estudiar. La esencia del

modelo recae en la formulación de una especificación de utilidad genérica que sea capaz de representar alternativas que difieran en: (1) el número de transbordos; (2) los modos utilizados en cada etapa del viaje; (3) las características del punto de transferencia; y (4) las condiciones del viaje. En la investigación, es particularmente relevante capturar la penalización pura por transferencia. Este efecto se incorpora mediante la definición de constantes asociadas a cada transbordo, en caso de existir. Esto permite cuantificar su valor y, además, comprobar si este depende del número de transferencias. Una vez definidas las variables del modelo, las constantes capturan los demás factores que influyen en la elección, que son desconocidos para el modelador. Sin embargo, al estar presentes en todas las alternativas, no afectan a la diferencia entre constantes, que puede interpretarse como la percepción relativa de la penalización pura por transferencia. Este enfoque asume que la función de utilidad es apropiada para capturar este fenómeno a través de constantes. La especificación de utilidad genérica es la siguiente:

$$U(T_j) = \alpha_j + \sum_k \beta_{kj} x_{kj} \quad (3.1)$$

Donde $U(T_j)$ representa la utilidad asociada al número de transbordos (j); (β) son los coeficientes que ponderan los atributos (x) del individuo, de la alternativa o de la situación de elección en el espectro (k); y (α) es una constante que captura otros factores desconocidos: la penalización pura por transferencia.

Para estimar el componente sistemático de la utilidad en la Ecuación 3.1, se utiliza el paradigma de elecciones discretas de la teoría de la utilidad aleatoria. El paradigma se corresponde con una función de utilidad indirecta condicional que incluye las variables que influyen en la elección (Ben-Akiva y Lerman, 1985; Domencich y McFadden, 1975; Jara-Díaz, 2007). La teoría de la maximización de la utilidad aleatoria se basa en la hipótesis de que los individuos (q) eligen entre diferentes alternativas (A_j) en función de la utilidad que les reportan (U_{jq}). El analista asume que la utilidad puede medirse como la suma de dos componentes: (1) una parte representativa de la utilidad (V_{jq}) que puede medirse a partir de los atributos (x) del individuo, de la alternativa o de la situación de elección, y ponderados por unos coeficientes (β); y (2) un término aleatorio (ε) que representa la diferencia entre la utilidad representativa y la real, y que captura los atributos no observados y errores de medida (Train, 2003). La función se muestra en la Ecuación 3.2:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} = \sum_k \beta_{jk} X_{jkq} + \varepsilon_{jq} \quad (3.2)$$

Suponiendo que los viajeros actúan de acuerdo con la teoría de la utilidad aleatoria y persiguen maximizar su utilidad, un individuo (q) elegirá la alternativa (A_i) si se cumple la Ecuación 3.3 (Louviere et al., 2000):

$$U_{iq} > U_{jq} = (V_{iq} + \varepsilon_{iq}) > (V_{jq} + \varepsilon_{jq}); \forall j \neq i \in A \quad (3.3)$$

Se asume que los errores tienen una media igual a cero. Si se distribuyen de manera idéntica e independiente (IID) Gumbel, la probabilidad (P_{iq}) de que un individuo elija una alternativa particular (A_j) del conjunto de opciones disponibles (A_q) viene dada por el modelo Logit Multinomial (MNL), tal y como se muestra en la Ecuación 3.4 (Domencich y McFadden, 1975).

$$P_{iq} = \frac{\exp(\mu V_{iq})}{\sum_{A_j \in A_q} \exp(\mu V_{jq})} \quad (3.4)$$

Donde (μ) es un factor de escala no identificable que debe ser normalizado. El factor está relacionado con la desviación estándar de los errores, y generalmente se establece que es igual a uno, suponiendo que las variables explicativas son precisas. Sin embargo, el modelo MNL tiene algunas limitaciones: (a) asume la independencia de alternativas irrelevantes; (b) no considera el orden (en caso de que sea relevante); (c) no representa preferencias aleatorias; (d) asume que las funciones de utilidad de las alternativas son homocedásticas; y finalmente, (e) asume que todas las observaciones son independientes. Algunas de estas suposiciones no son válidas para analizar la percepción del transbordo.

Las encuestas de PD son una herramienta para considerar alternativas que no existen en la realidad. Esto permite que los participantes se enfrenten a escenarios hipotéticos con utilidades similares, formando un conjunto de situaciones de elección. Por ello, la tesis opta por este método como medio para crear la base de datos de la investigación. Esto implica que las observaciones serán dependientes, ya que cada participante escoge entre varias situaciones de elección, lo que es contrario a los supuestos (a) y (e) del modelo MNL (Ortúzar et al., 2000).

Por tanto, se debe **aplicar el modelo Logit con Componentes de Error (ECL)** de la familia logit mixto, que sí permite la correlación entre las respuestas de un mismo participante y la dependencia entre alternativas, corrigiendo una posible heterocedasticidad.

El modelo ECL es similar al MNL de la Ecuación 3.2, con excepción de un término de error adicional (η_{jq}) que se añade al final de la ecuación. Este no cumple con las propiedades de (ε) y puede distribuirse como el modelador considere apropiado (Ecuación 3.5). El modelo ECL tiene un gran potencial de modelización, ofreciendo un kernel logit multinomial y una correlación entre alternativas y observaciones de términos aleatorios (Ortuzar y Willumsen, 2011).

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} = \sum_k \beta_{jk} X_{jkq} + \varepsilon_{jq} + \eta_{jq} \quad (3.5)$$

Se asume que los errores (η_{jq}) se distribuyen normalmente y que permiten tratar adecuadamente la correlación entre las respuestas de los participantes.

Los modelos logit se estiman utilizando el método simulado de máxima verosimilitud, que encuentra coeficientes precisos que explican el modelo a partir de los datos observados (Louviere et al., 2000; Train, 2003). La función $(P_x(x|\beta))$ expresa la probabilidad de que ocurra un resultado concreto (x) en un experimento (X) . (β) es un vector que contiene los parámetros del modelo $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$. Si este vector fuera conocido, la función de probabilidad de una muestra aleatoria de un conjunto de experimentos $(X_1, X_2, \dots, X_M)$, puede expresarse como muestra la Ecuación 3.6.

$$P_{X_1, X_2, \dots, X_M}(X_1, X_2, \dots, X_M|\beta) = P_{X_1}(X_1|\beta) \cdot P_{X_2}(X_2|\beta) \cdot \dots \cdot P_{X_M}(X_M|\beta) = \prod_{m=1}^M P_{X_m}(X_m|\beta) \quad (3.6)$$

El objetivo de la función de verosimilitud (Ecuación 3.7) es estimar el vector de parámetros (β) , que es desconocido. El valor de (β) que maximiza la probabilidad es el mejor estimador del modelo. De esta forma, un modelo tiene mejor ajuste que otro si el valor de la función de verosimilitud del primero es mayor que el del segundo.

$$L(\beta|X_1, X_2, \dots, X_M) = \prod_{m=1}^M P_{X_m}(X_m|\beta) \quad (3.7)$$

Debe comprobarse que las variables independientes del modelo son significativas mediante el estimador *Chi squared*, fijando un nivel de significatividad del 95%. La bondad de ajuste del modelo se estima a través del valor del parámetro *pseudo R² de McFadden* ($\check{R}^2$), tal y como muestra la Ecuación 3.8:

$$\check{R}^2 = 1 - \frac{\ln L}{\ln L_r} \quad (3.8)$$

Donde $(\ln L)$ es el logaritmo neperiano de la función de verosimilitud (Ecuación 3.7) del modelo sin restricciones, con todas las variables explicativas, y $(\ln L_r)$ es el logaritmo neperiano de la función de MV del modelo restringido, únicamente con el término independiente del modelo. La Figura 3.3, que muestra la relación entre los índices R^2 y $\check{R}^2$, muestra que un valor de $\check{R}^2$ de 0,6 es análogo a un valor de R^2 cercano a 1. Un valor de $\check{R}^2$ superior a 0,2 representa un buen ajuste, mientras que si es 0,4 o superior, el ajuste es excelente (McFadden, 1979).

Figura 3.3. Relación entre los estadísticos R^2 y $\bar{R}^2$ (Domencich y McFadden, 1975).

Para profundizar en la familia de modelos logit, se recomienda consultar la siguiente bibliografía: Ben-Akiva y Lerman (1985), Louviere et al. (2000), Orro (2006) y Train (2003).

3.5 Captación de encuestados con cuestionarios online

Con anterioridad a la aplicación de una medida política en una ciudad, es necesario encuestar a grupos de personas afectados para conocer su impacto –o potencialmente afectados si se trata de un análisis prospectivo. La selección de la muestra y la campaña de encuestas suele ser un proceso difícil y costoso.

En el ámbito del transporte, una solución es capturar a los encuestados en el interior de los vehículos o infraestructuras de transporte, o en las entradas y salidas de las mismas. El principal problema es que el tiempo es muy limitado. Por una parte, las encuestas de transporte normalmente cubren una larga lista de preguntas para obtener información sobre características socioeconómicas y patrones de viaje, y por otra, los viajeros tienen prisa por coger otros medios de transporte o llegar a su destino. Watkins et al. (2011) destacó que un gran porcentaje de usuarios de TP no están dispuestos a participar porque la llegada del siguiente vehículo es inminente y, por lo tanto, no tienen tiempo suficiente. De esta forma, no se pueden realizar encuestas extensas y complejas, debiendo ser muy breves y con pocas preguntas. Estas, por lo general, no son suficientes para fines de planificación y modelado de transporte. Por estas razones, los métodos tradicionales de encuestas, como las entrevistas cara a cara, no se consideran apropiados para capturar las percepciones de los viajeros en vehículos, en el transcurso de un transbordo, y en estaciones de metro y paradas de autobús. Otros, como las encuestas domiciliarias, son demasiado caros.

La alternativa es utilizar técnicas de encuestas online, un método de recopilación de datos con un diseño interactivo. Entre sus ventajas, destacan: costes reducidos en tiempo y dinero (Cobanoglu et al., 2001; Schmidt, 1997); obtención de respuestas de un modo más rápido que métodos tradicionales (Yun y Trumbo, 2000); formatos interactivos y personalizados; solución ágil de problemas; posibilidad de añadir complejidad con preguntas ordenadas al azar, condicionales, etc.; recopilación automática de datos; acceso a muestras de mayor tamaño (Birnbaum, 2004); un esfuerzo menor por parte del participante para completar la encuesta (Vicente y Reis, 2010); y la ausencia del sesgo del encuestador (Sills y Song, 2002).

Sin embargo, las encuestas online también tienen desventajas, relacionadas con sesgos y limitaciones de respuestas incompletas o inaceptables, respuestas múltiples y la seguridad e integridad de los datos recopilados. Las personas de edad avanzada pueden encontrar dificultades para completar la encuesta, por lo que las preguntas deben entenderse con claridad. Además, existe el riesgo de que los participantes respondan aleatoriamente para completar la encuesta en menos tiempo y optar al sorteo del premio, en caso de existir. En la actualidad, existen dos limitaciones que aún no se han resuelto satisfactoriamente: ratios bajos de respuestas y la existencia de un sesgo en la selección de la muestra.

Los ratios de respuesta en encuestas online son la mitad de los correspondientes a enfoques tradicionales. Laaksonen y Heiskanen (2013) compararon métodos de recopilación de datos online, entrevistas cara a cara y por teléfono, con ratios de respuesta del 25%, 50% y 62%, respectivamente. Un ratio bajo de respuesta puede conducir a errores potencialmente graves (LaRose y Tsai, 2014), por lo que se recomienda complementar las encuestas online con otros métodos de captación (Converse et al., 2008). No obstante, el ratio de respuesta de las encuestas online está aumentando progresivamente, ya que existe un incremento del porcentaje de “*nativos digitales*” en la sociedad (Couper, 2008, Couper y Miller, 2008).

El segundo problema consiste en seleccionar la muestra correctamente, de forma que sea representativa de la población. No todos los grupos de ciudadanos, según edad, género, usuarios de autobús o metro, etc., están dispuestos a participar en la misma medida en encuestas online. Los problemas asociados consisten en elegir el cómo y dónde del método de captación, y la forma de motivar a los participantes para que completen el cuestionario. Por tanto, el cuestionario se debe adaptar y distribuir de forma que atraiga al mejor grupo de encuestados como representantes de la población.

No obstante, las encuestas online tienen más ventajas que desventajas sobre los métodos de captación tradicionales (Converse et al., 2008; Evans y Mathur, 2005; Kaplan et al., 2012; Roztocky y Morgan, 2002; Vingilis et al., 2013). En este sentido, el Centro de Investigación del Transporte (TRANSyT) utiliza un método innovador

que combina los beneficios de las entrevistas cara a cara y el potencial de los cuestionarios online.

3.5.1 El método de captación de encuestados de TRANSyT

El método desarrollado por TRANSyT explora la opinión de los usuarios reales o potenciales de un servicio o infraestructura de transporte, sintetizando los beneficios de dos metodologías (Babbie, 2010): (1) entrevistas personales: contacto personal, creación de un registro con las observaciones de los encuestados y obtención de una muestra más representativa; y (2) encuestas online: mayor confidencialidad y honestidad gracias al anonimato y la privacidad; posibilidad de realizar preguntas complejas y coste bajo.

El primer paso de este método combinado es definir los objetivos de la encuesta, un esquema con las preguntas y un plan inicial de encuesta. Posteriormente, se desarrolla un borrador del cuestionario que permita obtener datos apropiados según el objetivo definido. En esta fase se decide la tipología de preguntas: preferencias reveladas y/o declaradas, preguntas de clasificación, respuesta múltiple, etc. El número de preguntas no debe ser extenso, pues el encuestado podría desistir de completar la encuesta. Se recomienda que el tiempo necesario para terminarla no exceda de 10-15 minutos.

Más tarde, el cuestionario se introduce y edita en una herramienta online de desarrollo de encuestas basada en la nube, con una interfaz accesible a usuarios no familiarizados con este tipo de software. Estas herramientas permiten un análisis rápido de respuestas mediante gráficos y tablas, y la exportación de resultados a software de procesamiento de datos. El cuestionario también se puede diseñar utilizando el lenguaje de programación HTML (HyperText Markup Language), un lenguaje de marcado que define una estructura básica y un código para la definición de contenido de una página web. Esto permite superar algunas limitaciones de software comerciales, como restricciones lógicas avanzadas.

Con anterioridad a la campaña de encuestas final, se lleva a cabo una encuesta piloto con el objetivo de verificar si el cuestionario es comprensible y depurar errores. La muestra piloto debe ser similar a la definitiva, representando diferentes edades, género, características socioeconómicas y hábitos de transporte. Según las respuestas y recomendaciones obtenidas en la fase piloto, se adaptan el contenido y el diseño gráfico del cuestionario.

Una vez se dispone de la versión final del cuestionario, se diseñan tarjetas con información del proyecto y la encuesta, un código de acceso individual y la dirección web de la encuesta online, a través de una URL y/o un código QR (Figura 3.4). De esta forma, los encuestados pueden acceder a la encuesta cuando dispongan del tiempo necesario para ello. La tarjeta también incluye información sobre el premio

que se sortea entre las personas que completan la encuesta, con el objetivo de fomentar la participación y aumentar el ratio de respuesta. El premio puede consistir en una Tablet, cheques restaurante, vales regalo u otros relacionados con el tipo de proyecto, como por ejemplo una bicicleta.

Figura 3.4. Ejemplo de tarjetas repartidas en proyectos de TRANSyT: a) proyecto City-HUB; b) encuestas de BiciMAD; y c) proyecto OPTICITIES.

El procedimiento de reparto no se limita únicamente a entregar la tarjeta, sino que el encuestador debe explicar brevemente, en unos 30 segundos, los puntos que se recogen a continuación:

- El nombre del proyecto, la institución que lo realiza y el apoyo institucional recibido.
- El objetivo de la encuesta.
- El modo de acceder a la encuesta introduciendo el código de acceso único de la tarjeta, y el plazo para completarla.
- El tiempo necesario para rellenar la encuesta.
- El incentivo que se sortea entre los participantes que completan la encuesta.

Esta pequeña interacción encuestador-encuestado repercute positivamente en el ratio de respuesta. El control de la campaña de encuestas se realiza a través de grupos online de mensajes y comprobaciones in situ. El chat online permite aclarar

cualquier problema o duda surgido durante las entrevistas personales, como problemas técnicos, y los controles personales evitan irregularidades. Los encuestadores registran a qué grupos de usuarios se les reparten tarjetas para garantizar un ajuste inicial de la muestra. Las respuestas obtenidas se analizan a diario, con el fin de corregir los objetivos de muestreo en días posteriores.

Finalmente, las respuestas se almacenan en una base de datos alojada en el mismo servidor que el cuestionario. Los resultados se exportan a una hoja de cálculo o un software estadístico para realizar análisis estadísticos, descartando errores en las respuestas y respuestas ilegibles. En este paso se pueden monitorizar respuestas duplicadas y encuestas incompletas. Trompet et al. (2013) destacaron que, debido a la propia naturaleza de una encuesta online de satisfacción del usuario, las bases de datos se deben depurar de:

- Respuestas que sigan un patrón, como 1,1,1,1,2,2,2,2,3,3,3,3 ... o 1,2,3,4,5,1,2,3,4,5 ... etc.
- Respuestas que siempre indican lo mismo, como muy satisfecho o muy insatisfecho, y que se han respondido rápidamente.

Esta metodología se utilizó por primera vez en el proyecto City-HUB, cofinanciado por la Unión Europea, para estudiar la percepción de los usuarios en intercambiadores de transporte (Hernandez, 2015; Hernandez et al., 2016; Monzon y Di Ciommo, 2016). Posteriormente, se aplicó al análisis de perfiles de usuarios de bicicletas compartidas en el proyecto BiciMAD (Garcia-Martinez et al., 2016; Munkácsy, 2017; Munkácsy y Monzon, 2017a; 2017b) y para revelar la opinión de viajeros sobre una aplicación móvil en el proyecto OPTICITIES¹. En estos proyectos, las tasas de respuesta resultaron ser altas, comprendidas entre un 14% y 21%. El sorteo del premio y las entrevistas personales fueron decisivos, demostrando la validez y solidez de esta metodología para encuestas de transporte. No obstante, algunos aspectos son susceptibles de mejora, como la sobrerrepresentación de hombres en la muestra, la limitación de personas mayores, barreras de lenguaje con turistas y su interés en proyectos que no les afectan, y la mayor participación de encuestados con títulos de educación superior. Se recomienda consultar Monzon et al. (2017), donde se detalla en profundidad la comparación entre los casos de estudio mencionados.

¹ <http://www.opticities.com/>

PARTE II: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A LOS CASOS DE ESTUDIO

4 DEFINICIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

“Mantengo mis ideales porque, a pesar de todo, aún creo que la gente es buena de corazón.”

Anne Frank

El cuarto capítulo define los casos de estudio seleccionados en el marco del proyecto de investigación TRANSFER. En primer lugar, se resume la metodología y el objetivo del proyecto. En el segundo epígrafe se realiza una comparación entre los dos casos de estudio: Madrid y Vitoria-Gasteiz, en función de variables con influencia en las pautas de movilidad.

4.1 Elección de los casos tipo: Madrid y Vitoria-Gasteiz

Las ciudades elegidas en el marco del proyecto TRANSFER fueron Madrid y Vitoria-Gasteiz. La Figura 4.1 muestra sus localizaciones en territorio español.

Figura 4.1. Localización de los casos de estudio: Madrid y Vitoria-Gasteiz.

Madrid es la capital de España y la ciudad más grande del país. Tiene una población de casi 3,2 millones de habitantes (INE, 2018a) y una densidad de 11.737 habitantes por km² (Ministerio de Fomento, 2016), considerando únicamente las zonas urbanas desarrolladas. Alrededor de un tercio de sus habitantes residen en los distritos de la zona interior a M-30 (Ayuntamiento de Madrid, 2017), el anillo viario de circunvalación más cercano al centro de la ciudad, en lo que se conoce como *almendra central*. En esta, el TP incluye autobuses urbanos, metro, cercanías y un sistema de bicicleta pública (BiciMAD). Se realizan un total de 3,8 millones de viajes a diario, de los cuales el 59,3% son en TP (CRTM, 2014). La red de autobuses urbanos cuenta con 200 líneas y 3.623 km de longitud, y una flota de 1.900 vehículos (Observatorio de la Movilidad Metropolitana, 2017). La red de metro tiene un papel fundamental, con 13 líneas que cubren una distancia total de 289 km. En 2004, ambos medios de transporte concentraban el 85% del total de viajes en TP en la almendra central, lo que representó 2,6 millones de viajes cada día laborable (CRTM, 2005). El sistema de TP ofrece información en tiempo real sobre la llegada del siguiente vehículo en todas las estaciones de metro y el 50% de las paradas de autobús. Por último, cabe destacar que los usuarios de TP están habituados a

transbordar: el 56% y 18% realizan uno y dos transbordos, respectivamente, tal y como confirmó el análisis de datos de la campaña de encuestas (ver Capítulo 7).

El caso de Madrid se escogió, principalmente, por la densidad de su sistema de TP, que cuenta con varios modos, diferentes tipos de puntos de intercambio, y que permite a los usuarios la posibilidad de usar diferentes rutas entre un origen y destino determinado. Por otra parte, la familiaridad de los usuarios de TP con rutas que exigen transbordar y la existencia de viajeros que transfieren en más de una ocasión, permite estimar las diferencias de desutilidad percibida entre transbordar en una y en dos ocasiones, o más.

Vitoria-Gasteiz es la capital del País Vasco, en el norte de España. Es una ciudad de tamaño medio con 242.000 habitantes (INE, 2018a) y una densidad de 4.308 habitantes por km² (Ministerio de Fomento, 2016). Según la encuesta de movilidad de 2014 (CEA, 2015), el 53,5% de los viajes totales se hacen a pie. Le siguen los viajes en bicicleta, que representan el 13,4% del total. La red de TP cuenta con 10 líneas de autobús y 2 de tranvía, y sus paradas están plenamente integradas. En el centro de la ciudad, el tranvía comparte su infraestructura y paradas con el servicio de autobuses. La red de autobuses se reestructuró en 2009 para optimizar los tiempos de viaje y las frecuencias, y para integrar sus líneas con las del tranvía (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2010). La reestructuración de la red supuso que los puntos de transferencia aumentaran respecto a la anterior configuración, así como el número de transbordos (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2010). Los usuarios de TP, al contrario que en Madrid, no están acostumbrados a transbordar, tal y como demuestran los datos obtenidos en la campaña de encuestas, ya que tan solo el 27% transborda en sus viajes habituales.

La elección de Vitoria-Gasteiz estuvo motivada por su tamaño y su red de TP. A pesar de ser una ciudad mediana, cuenta con líneas de autobuses y tranvía, lo cual permite estimar la desutilidad percibida al transbordar y compararla con la de una ciudad de tamaño grande.

La Tabla 4.1 muestra la población y densidad, datos socioeconómicos, climatológicos, de movilidad y TP de cada ciudad. La información se ha obtenido de diversas fuentes, entre las que se incluyen AEMET (2018), CEA (2015), CRTM (2014), Observatorio de la Movilidad Metropolitana (2017), y datos procedentes de las campañas de toma de datos.

El número de viajes en Madrid es diez veces mayor que en Vitoria-Gasteiz, que refleja la diferencia de las necesidades de movilidad entre ambas ciudades. El tiempo medio de viaje es de 29 y 24 minutos en Madrid y Vitoria-Gasteiz, respectivamente. El reparto modal del coche particular es similar en ambos casos, alrededor del 45%. No obstante, el porcentaje de viajes en TP en Madrid supera en más de 25 puntos porcentuales al de Vitoria-Gasteiz. Esta diferencia se refleja de

forma inversa en la movilidad activa (bicicleta y a pie). Vitoria-Gasteiz supera en más de 20 puntos porcentuales a la de Madrid. El patrón de movilidad en Vitoria-Gasteiz se explica por los esfuerzos que ha realizado la ciudad en los últimos años en enfocarla hacia modos sostenibles (Lopez-Lambas y Garcia-Martinez, 2015). Por otra parte, las distancias de viaje son asequibles en bicicleta y caminando, teniendo en cuenta que el área urbanizada de Vitoria-Gasteiz equivale a un quinto de la de Madrid. Para más información, se recomienda consultar el Plan de Movilidad Urbana Sostenible de la ciudad de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2014) y el Plan de Movilidad Sostenible y Espacio Público de Vitoria-Gasteiz (CEA, 2017).

Tabla 4.1. Características generales, datos socioeconómicos, climatológicos y de movilidad de Madrid y Vitoria-Gasteiz.

	Madrid (2015)				Vitoria-Gasteiz (2014)			
Características generales								
Población (millones)	3,142				0,242			
Densidad (habitantes por km²)	11.737				4.308			
Datos socioeconómicos								
Tamaño del hogar	2,5				2,4			
Tasa de desempleo	16,5%				16,1%			
PIB per cápita (euros/habitante)	30.637				29.277			
Datos climatológicos (1981-2010)								
Temperatura anual media	15,0º C				11,7º C			
Precipitación media anual (mm)	421				742			
Número medio de días con lluvia	59,4				99,3			
Número medio de días con nieve	3,6				11,4			
Movilidad								
Viajes en días laborables	9.303.435				911.326			
Tiempo medio de viaje (min)	29,0				24,0			
Distancia media de viaje (km)	6,0				n.d.			
Usuarios por género	54,3% mujeres; 45,7% hombres				51,0% mujeres; 49,0% hombres			
	Coche	TP	A pie	Bicicleta	Coche	TP	A pie	Bicicleta
Reparto modal (motivo trabajo)	44,6%	34,4%	19,6%	0,8%	47,0%	7,2%	25,5%	16,5%
Reparto modal (todos los motivos)	40,4%	28,4%	30,4%		24,0%	7,9%	53,5%	13,4%
Transporte público	Bus urbano		Metro		Bus urbano		Tranvía	
Número de líneas	204		13		10		2	
Longitud de líneas (km)	3.623		289		n.d.		12.8	
Oferta (millones de veh-km)	88		169		n.d.		n.d.	
Demanda (millones de pasajeros-km)	1.042		3.628		n.d.		n.d.	
Flota de vehículos	1.908		292		81		n.d.	
Viajes con transbordo (%)			77%				27%	

(n.d.) no disponible.

Además de paneles con información en tiempo real sobre el tiempo de espera en paradas y estaciones, en las dos ciudades existen aplicaciones móviles de TP que

indican el tiempo real hasta la llegada del siguiente vehículo, permitiendo su consulta en cualquier lugar.

La climatología varía entre ambas ciudades, siendo un factor con un impacto potencial en la percepción del transbordo. El número medio de días con nieve y lluvia, y la precipitación media anual son mayores en el caso de Vitoria-Gasteiz, con una temperatura media anual inferior a la de Madrid. Por tanto, Vitoria-Gasteiz tiene unas condiciones meteorológicas y climáticas más adversas que Madrid.

La mayoría de usuarios de TP viajan con abonos mensuales o anuales pagando una tarifa plana, o con una tarjeta con bonificaciones. El porcentaje de usuarios con abono es incluso mayor cuando el motivo de viaje es por trabajo o estudios, realizado fundamentalmente por usuarios habituales. Este hecho se confirmó con el análisis de los resultados de las encuestas definitivas. Un 66% y 90% de los participantes declararon viajar con un abono mensual o anual en Madrid y tarjetas BAT (Bidai Agiri Txartela) con bonificación en Vitoria-Gasteiz, respectivamente. Estos títulos permiten, con carácter general, transbordar gratuitamente, aunque hay excepciones (Tabla 4.2). En Madrid habría que tener en cuenta, además, que los títulos de diez viajes y sencillos incluyen transferencias en metro sin coste adicional, aunque entre autobuses y bus y metro no. En Vitoria-Gasteiz los transbordos entre el mismo son también gratuitos con la tarjeta BAT si las cancelaciones se realizan en menos de 50 minutos desde el inicio del viaje. En transbordos entre modos distintos, el usuario debe pagar menos de 20 céntimos, por lo que no existen barreras económicas significativas para transbordar.

Tabla 4.2. Coste del transbordo en Madrid y Vitoria-Gasteiz.

Tipo de transbordo	Madrid		Tipo de transbordo	Vitoria-Gasteiz	
	Billete múltiple/sencillo (34%)	Abono mensual/anual (66%)		Billete sencillo (4%)	Tarjeta BAT con bonificaciones (90%)
Bus-Bus	Pago doble	Gratuito	Bus-Bus	Pago doble	Gratuito 1 ^{er} transbordo (<i><50 min</i>)
Bus-Metro	Pago doble	Gratuito	Bus-Tranvía	Pago doble	Pago reducido <20 cts. (<i><50 min</i>)
Metro-Metro	Gratuito	Gratuito	Tranvía-Tranvía	Gratuito (<i><50 min</i>)	Gratuito (<i><50 min</i>)

Ambas ciudades tienen similares características socioeconómicas, pero también diferencias significativas, como el reparto modal y la climatología, además del tamaño. Estas variables servirán para explicar los resultados de la comparación entre ambos municipios.

La definición de la **muestra objetivo** se basó en tres criterios. En primer lugar, se optó por enfocar la investigación a la almendra central de Madrid, cuyo patrón de movilidad es comparable al de Vitoria-Gasteiz por similitud en los tiempos medios y etapas de viaje. En segundo lugar, se decidió escoger a usuarios de TP de un medio ferroviario, metro en Madrid y tranvía en Vitoria-Gasteiz, y del sistema de autobuses urbanos en ambas ciudades, con el fin de que fueran comparables entre sí. Por último, y siguiendo el ejemplo de otros estudios (Chowdhury et al., 2015; Navarrete y Ortúzar, 2013), la encuesta se restringió a usuarios habituales (o *commuters*, en inglés) ya que transbordan en más ocasiones y tienen una mayor facilidad para imaginar escenarios hipotéticos (Currie y Loader, 2010).

5 GRUPOS FOCALES Y DEFINICIÓN DE LAS FUNCIONES DE UTILIDAD

“No fracasé, sólo descubrí 999 maneras de cómo no hacer una bombilla.”

Thomas Alva Edison

Este capítulo desarrolla, en primer lugar, la realización de los grupos focales en Madrid y Vitoria-Gasteiz. Posteriormente, se muestra el análisis cualitativo de los resultados obtenidos. A continuación, se detallan las conclusiones de esta etapa de la investigación y, por último, se definen las funciones de utilidad para cada caso de estudio.

Esta fase de la investigación dio lugar a un artículo científico:

Cascajo, R, Lopez, E., Herrero, F. y Monzon, A., (in press). User perception of transfers in multimodal urban trips: a qualitative study. International Journal of Sustainable Transportation.

5.1 Diseño y desarrollo de los grupos focales de Madrid y Vitoria-Gasteiz

En base a la metodología (Epígrafe 3.2), el moderador de un grupo focal debe conocer las variables más relevantes sobre el tema a tratar, con el fin de sacarlas a debate si los participantes no lo hacen de forma espontánea. Estas variables se identifican en la revisión del estado del arte (Capítulo 2). En este punto, los grupos focales permiten confirmar la importancia de las variables referidas e identificar otras nuevas, lo que posibilita adaptar la investigación a la casuística de cada caso de estudio.

Con anterioridad a la celebración de los grupos focales, se visitaron las instalaciones de transporte de Madrid y Vitoria-Gasteiz, y se reunieron con responsables de movilidad. Las visitas ayudaron a obtener una visión general de la topología y del sistema de transporte de cada ciudad.

En primer lugar, se decidió el número de sesiones en cada ciudad: tres en Madrid y dos en Vitoria-Gasteiz. Los grupos se definieron en función de la edad y género (Kitzinger, 1995; Morgan, 1996). La edad de los viajeros puede influir en la desutilidad de la transferencia, en especial la percepción del tiempo (Emmerson et al., 2013; Gwyther y Holland, 2014; Hancock y Rausch, 2010). El género también puede tener influencia como, por ejemplo, en la percepción del tiempo caminando (Navarrete y Ortúzar, 2013). Posteriormente, se eligió el procedimiento para captar participantes, que fue distinto para cada grupo focal y ciudad. Por último, se concretó el lugar y la fecha de celebración de las reuniones.

Al comenzar cada grupo focal, se informaba a los participantes del objetivo de la sesión y de la política de confidencialidad. Asimismo, se les pidió permiso para grabar sus intervenciones para transcribirlas en la fase de análisis, y se les entregó un breve cuestionario con preguntas sobre datos socioeconómicos (edad, género y ocupación) y hábitos de movilidad: frecuencia de uso del TP, motivo de viaje, si realizaban o no transbordos habitualmente y el tipo de transferencia.

Los grupos se dispusieron en círculo alrededor de una mesa. En sus extremos se dispusieron dos grabadoras para documentar las reuniones, en caso de que una de las dos fallara. En las sesiones participaron dos moderadores y un asistente: un psicólogo y dos ingenieros de transporte, todos ellos investigadores del proyecto TRANSFER. El asistente se situaba en un lugar apartado, anotando los turnos de intervención de los participantes para facilitar posteriormente su transcripción. Los moderadores iniciaron los grupos focales con una pregunta abierta, dejando que los participantes expresaran libremente su opinión y experiencia sobre el transbordo. Durante el desarrollo de las sesiones, los moderadores utilizaron una guía

semiestructurada a modo de guion con los supuestos teóricos sobre los factores que influyen en la penalización del transbordo, tal y como recomienda la literatura (Krueger y Casey, 2014; Morgan, 1996; Tracy, 2010). Las intervenciones de los moderadores eran puntuales, especialmente si los participantes expresaban opiniones contradictorias (Kitzinger, 1995; Krueger, 1997). En caso de que algún atributo identificado en la revisión literaria no se mencionara espontáneamente, los moderadores, de forma consensuada, decidían si añadirlo al debate. Al finalizar cada grupo focal, se entregó a cada participante un cheque regalo de 10€ para compensarles por su disponibilidad.

5.1.1 Grupos focales en Madrid

En el caso de Madrid se definieron tres grupos focales por edad, intentando que en cada uno existiera equidad en la representación del género:

- **Jóvenes** (8 personas): estudiantes o trabajadores con edades comprendidas entre 18 y 30 años.
- **Adultos** (7 personas): trabajadores con edades comprendidas entre 30 y 65 años.
- **Jubilados** (5 personas): mayores de 65 años.

A los participantes del primer grupo se les contactó por correo electrónico y se eligieron entre estudiantes de la Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos de la UPM. Entre las solicitudes recibidas, se seleccionaron 8 personas. El grupo focal tuvo lugar el 23 de marzo de 2015 a las 16:00 horas en un aula de la escuela, con una duración de una hora y media.

El segundo grupo se captó entre trabajadores de la UPM, también a través de un correo electrónico. El grupo focal se desarrolló el 8 de junio de 2015 a las 16:00 horas en un aula del Rectorado de la UPM, con una duración de una hora y cuarto, y al que asistieron 7 participantes.

El método de captación en el grupo de jubilados consistió en colocar anuncios en los alrededores de residencias de ancianos. Finalmente, 5 participantes asistieron a la reunión programada el 28 de septiembre de 2015 en el Colegio Mayor Chaminade a las 12:00 horas, que tuvo una duración de una hora y media.

En total, **en los grupos focales de Madrid participaron 20 personas**. Todos los participantes declararon utilizar el TP con frecuencia y transbordar en su viaje habitual. Esta fue una condición necesaria pues no sería posible evaluar adecuadamente las variables que influyen en la percepción del transbordo si no se transfiere con asiduidad. En general, los participantes declararon que su tipo de transbordo habitual era el realizado entre diferentes líneas de metro, excepto en el caso de jubilados, transbordan mayoritariamente entre autobuses.

5.1.2 Grupos focales en Vitoria-Gasteiz

En Vitoria-Gasteiz se definieron dos grupos focales por edad, intentando que la representatividad de hombres y mujeres fuera del 50%:

- **Adultos y jóvenes** (5 personas): estudiantes o trabajadores con edades comprendidas entre 18 y 65 años.
- **Jubilados** (4 personas): mayores de 65 años.

Para captar a los integrantes de cada grupo se consultó la lista con los participantes de la Encuesta de Movilidad de Vitoria-Gasteiz de 2014 que hubieran dado su consentimiento para ser contactados en estudios posteriores. A partir de este listado, se utilizaron tres métodos de captación:

- **Correo electrónico.** En primer lugar, se envió un correo electrónico a los participantes de la Encuesta de Movilidad de Vitoria-Gasteiz de 2014 que facilitaron su dirección. En el correo se informaba de los objetivos del proyecto y del grupo focal. Asimismo, se anunció que los miembros de cada grupo recibirían un cheque regalo por valor de 10€ para motivar su participación. 11 personas mostraron su interés en participar, con un ratio de respuesta del 0,45%. Entre los interesados, la mayoría no solía transbordar en TP, por lo que el número de participantes era insuficiente.
- **Teléfono.** Para aumentar el número de personas, se contactó por teléfono a participantes de la Encuesta de Movilidad de Vitoria-Gasteiz de 2014 que hubieran facilitado su número para ser contactados en estudios posteriores. En las llamadas telefónicas se explicaba los objetivos del proyecto y del grupo focal. También se detallaba el incentivo de 10€ para fomentar la participación. El ratio de respuesta fue similar al del método anterior, un 0,50%.
- **Contactos.** El número de participantes habituado a transbordar aún era insuficiente, por lo que se propuso a los participantes seleccionados que preguntaran a conocidos si tenían interés en participar. Con este procedimiento se consiguieron cuatro nuevos participantes, completando la muestra.

Posteriormente, se comunicó a los participantes el lugar y fecha definitivos de celebración de las sesiones. Los dos grupos focales se llevaron a cabo el 18 de mayo de 2015 en una sala del Palacio Villa Suso en Vitoria-Gasteiz. El primero tuvo lugar a las 12:30 horas, mientras que el segundo se programó por la tarde, a las 16:00h. La duración de los grupos focales fue de una hora y media.

Los participantes declararon utilizar el TP con frecuencia y transbordar en sus viajes habituales. El transbordo más habitual era el realizado entre autobuses, motivado por la red de TP de la ciudad, en la que existen diez líneas de autobús por tan solo dos de tranvía.

5.2 Análisis de los grupos focales

El tratamiento de datos cualitativo comprendió un estudio por temáticas (Attride-Stirling, 2001), seguido de un enfoque teórico (Braun y Clarke, 2006), con el objetivo de encontrar patrones de significado, o temas, a través de las intervenciones de los participantes. En primer lugar, se transcribieron las grabaciones de audio. A continuación, se aplicó un procedimiento de codificación siguiendo las directrices generales de una investigación cualitativa (Denzin y Lincoln, 2011; Strauss y Corbin, 1998; Tracy, 2010). Este proceso se realizó de forma manual, e inicialmente se basó en los atributos identificados en la revisión literaria. En caso de encontrar nuevas variables, se agregaron posteriormente por acuerdo común entre los investigadores del proyecto TRANSFER.

A continuación, se detallan dos análisis de los grupos focales: uno cualitativo mediante nubes de palabras y otro cuantitativo a través de gráficos radiales.

5.2.1 Análisis cualitativo: nubes de palabras

Tal y como sugiere Sandelowski (2001), y como se procedió en los estudios de Van Cauwenberg et al. (2012) y Simons et al. (2013; 2014), **se analizó cuantitativamente el número de participantes que discutieron sobre los factores que influyen en la percepción del transbordo**. De esta forma, se refuerza el análisis cualitativo realizado con anterioridad. La variable que más se mencionó fue el tiempo total de viaje, seguida de la disponibilidad de información en tiempo real y la caminata, en tiempo y distancia. En el extremo contrario, se encuentran la seguridad, el intercambiador y el esfuerzo mental, mencionadas por menos del 10% de los participantes.

La Figura 5.1 muestra una representación de los resultados de Madrid en una **nube de palabras**, que facilita la visualización de las variables más relevantes. Se observa que no existe una palabra que destaque por encima del resto. Las más importantes son frecuencia, aglomeración de personas (muchedumbre), coordinación, modo, tiempo total y disponibilidad de información en tiempo real. A continuación, se sitúan comodidad, caminata, condición física, familiaridad e información. Es decir, los participantes dieron una importancia elevada y similar a numerosos factores. Los que menos se mencionaron fueron el esfuerzo mental, el precio, la seguridad y el intercambiador.

Figura 5.1. Grupos focales de Madrid. Nube de palabras.

La Figura 5.2 muestra la nube de palabras de Vitoria-Gasteiz. En este caso, sí existe una variable que destaca sobre el resto, el tiempo total de viaje, seguida por la incertidumbre. Por otro lado, existen hasta seis variables que no se mencionan: la inactividad durante el tiempo de espera, la comodidad, la seguridad, el intercambiador, el cambio de nivel al transbordar y la penalización pura por transferencia. Si se comparan las dos nubes de palabras, en Vitoria-Gasteiz el resultado es más sencillo, con menos atributos, y donde unas pocas destacan claramente por encima de los demás.

Figura 5.2. Grupos focales de Vitoria-Gasteiz. Nube de palabras.

No obstante, los resultados se deben interpretar con cautela. El hecho de que algunas variables sean mencionadas por un porcentaje alto de participantes puede

significar que son relevantes, pero también que quizás el debate se ha monopolizado en torno a ellas. Este razonamiento también es válido para el caso opuesto: un porcentaje bajo de aparición no significa que una variable no sea relevante, sino que puede interpretarse como falta de conocimiento o ausencia de opinión. Una de las limitaciones de los grupos focales es que no permiten generalizar los resultados obtenidos. Por lo tanto, este análisis no se debe utilizar exclusivamente para esbozar una lista con las variables con mayor influencia sobre la percepción del transbordo, pero sí como complemento a la revisión literaria.

5.2.2 Análisis cuantitativo: gráficos radiales

Los resultados de los grupos focales se analizaron cuantitativamente desde la perspectiva de las seis categorías de factores identificadas en la revisión literaria: características personales, características del viaje, tiempo, entorno, características del transbordo y penalización pura. El estudio se apoya en gráficos radiales, también conocidos como gráficos de araña, para tratar cada una de las categorías de variables de forma individual. En los gráficos radiales se representa el porcentaje de participantes que mencionaron cada variable, apreciándose las diferencias entre casos de estudio y grupos focales en función de la edad.

La Figura 5.3 muestra las características personales y del viaje. Los factores sobre los que más se discutió fueron la familiaridad con la ruta/red de TP y la condición física. El factor **familiaridad con la ruta/red de TP**, que está relacionado con la frecuencia de uso del mismo, es relevante para el grupo de jubilados, a diferencia de los jóvenes. En la revisión literaria se menciona que los usuarios habituales de TP dan una importancia menor a los tiempos caminando y de espera (Woyciechowicz y Shlisselberg, 2005). La ausencia de conocimiento del sistema de TP puede aumentar la incertidumbre percibida, disuadiendo a los usuarios de transbordar.

Figura 5.3. Análisis radial de los grupos focales: características personales y del viaje.

La **condición física** también fue más importante para el grupo de jubilados. Este factor está íntimamente relacionado con la edad, y es esencial al determinar la percepción del tiempo y la distancia caminando (Iseki y Taylor, 2009). Sin embargo, su importancia fue menor en Vitoria-Gasteiz, ya que los transbordos se realizan al mismo nivel. Por tanto, los usuarios con movilidad reducida encuentran menos dificultades al transbordar.

En cuanto a las características del viaje, el factor más relevante fue la **disponibilidad de información en tiempo real**, que ocupó el segundo lugar en importancia junto a las aplicaciones móviles. Los jóvenes prefieren consultar la información en tiempo real a través de estas, mientras que los adultos y jubilados dan más importancia a la información proporcionada en los paneles de paradas y estaciones.

Los jóvenes mencionaron el **modo habitual** y el **motivo de viaje** en un mayor porcentaje que el resto, razonando que la molestia percibida era mayor en transbordos en autobús y cualquier otro modo, y que el motivo de viaje o tener prisa repercute negativamente sobre la desutilidad percibida al transbordar.

La Figura 5.4 muestra los factores relacionados con el tiempo y el entorno. El factor más mencionado en todos los grupos focales fue el **tiempo** en todos sus componentes: tiempo caminando, tiempo de espera, tiempo de transbordo, y tiempo total de viaje. No obstante, el grupo de jubilados dio menor importancia a este factor en comparación con los grupos de jóvenes y adultos. Por otra parte, todos los participantes en Vitoria-Gasteiz dieron importancia a esta variable, por un 55% en el caso de Madrid, a pesar de que el tiempo medio de viaje es inferior en la primera (ver Tabla 4.1). Este hecho está relacionado con la familiaridad de viajar en TP. Un 34,4% de los viajes de movilidad obligada se hacen en TP en el caso de Madrid, por el 7,2% en Vitoria-Gasteiz. Las distancias de viaje también son inferiores en Vitoria-Gasteiz, lo que motiva que en ocasiones no merezca la pena transbordar, ya que la suma de los tiempos de espera, en vehículo y dispersión puede ser superior al tiempo necesario para cubrir la última etapa del viaje a pie.

La **caminata**, medida en tiempo y distancia, fue más citada en el grupo de jubilados que en los de jóvenes y adultos. Este factor está relacionado con la condición física que, tal y como se recoge en la revisión literaria, es más relevante entre el grupo de jubilados.

La variable **actividad/inactividad durante el tiempo de espera** fue mencionada en Madrid pero, en cambio, no apareció en los grupos focales de Vitoria-Gasteiz. Este hecho podría revelar una diferencia fundamental sobre la gestión del tiempo de espera en ambos casos de estudio, siendo relevante únicamente en ciudades de tamaño grande.

En cuanto a los factores relacionados con el entorno, los participantes mencionaron los atributos aglomeración de personas, climatología, comodidad, seguridad e intercambiador, siendo más citados los dos primeros.

Figura 5.4. Análisis radial de los grupos focales: factores relacionados con el tiempo y el entorno.

La **aglomeración de personas** fue considerada más importante en Madrid que en Vitoria-Gasteiz. Este hecho podría explicarse en base a que en la capital existen numerosos intercambiadores y estaciones de metro abarrotados de gente, que puede incluso llegar a duplicar el tiempo para acceder a escaleras mecánicas. En Madrid la mencionaron un 60% de los participantes, por tan solo el 22% en Vitoria-Gasteiz, aunque se indicó que sería importante si esta situación existiera y fuera recurrente.

La **climatología** también se identificó como un factor importante (Iseki y Taylor, 2009), en especial en Vitoria-Gasteiz. Tal y como se indica en el Epígrafe 4.1, la climatología en Vitoria-Gasteiz es más adversa que en Madrid. En días con lluvia o nieve, los usuarios de TP de Vitoria-Gasteiz prefieren esperar en una parada al próximo autobús o tranvía a caminar a la intemperie. Es decir, la penalización asociada al tiempo caminando es mayor en situaciones en las que el clima es adverso, por lo que un mayor porcentaje de usuarios consideran la posibilidad de transbordar. En este sentido, todos los participantes del grupo focal de adultos en Vitoria-Gasteiz declararon que transbordan más a menudo cuando hace mal tiempo. En Madrid, la variable climatología se entiende de forma distinta. Los participantes de los grupos focales se referían a ella, principalmente, como la temperatura y condiciones existentes en el interior de intercambiadores y estaciones.

Las variables **intercambiador** y **seguridad** no fueron muy citadas, mientras que la **comodidad** y la **información estática** fueron mencionadas por un mayor número de participantes en Madrid.

Por último, la Figura 5.5 muestra los factores relacionados con las características del transbordo y la penalización pura. Los atributos **escaleras mecánicas y ascensores** y **cambio de nivel al transbordar**, que están relacionados, fueron mencionados únicamente por los grupos focales de Madrid. El porcentaje fue algo mayor en el caso de jubilados. La razón de que estas variables no aparezcan en los grupos de Vitoria-Gasteiz es que las paradas de su sistema de TP (autobuses y tranvía) se encuentran en la superficie, por lo que los usuarios no cambian de nivel al transbordar. Además del esfuerzo físico requerido para transferir entre diferentes niveles, los grupos focales revelaron un nuevo atributo relacionado con el esfuerzo mental: una penalización psicológica producida por la profundidad de los niveles.

Figura 5.5. Análisis radial de los grupos focales: características del transbordo y penalización pura.

La **coordinación entre servicios** se logra sincronizando los horarios de las líneas de transporte en puntos de transferencia. La carencia de coordinación entre servicios provoca un aumento del tiempo total de viaje y la posibilidad de perder conexiones, que se han identificado como causas de generación de ansiedad en usuarios (Cheng, 2010). Esta variable es más relevante en el caso de Vitoria-Gasteiz, pues las frecuencias del TP son menores.

La **incertidumbre, frecuencia del servicio** y **fiabilidad** también fueron identificados como factores relevantes, tal y como se identifica en la revisión literaria (Ceder et al., 2013a; Iseki y Taylor, 2009; Schakenbos, 2014; Wardman y Hine, 2000). Estas variables son más importantes en Vitoria-Gasteiz, que puede

explicarse porque las frecuencias del TP son menores que en Madrid, aumentando la desutilidad de sus usuarios.

El **precio y el sistema de tarificación** fueron mencionados en mayor medida en Vitoria-Gasteiz, debido a que los transbordos entre autobús y tranvía tienen un coste, aunque reducido (las transferencias entre autobuses sí son gratuitas). En Madrid, en cambio, los transbordos son gratuitos siempre que se viaje con la tarjeta de TP, que es algo habitual.

Finalmente, los **grupos focales permitieron identificar dos factores que no se recogen en la literatura**, y que están relacionados con el concepto de penalización pura por transferencia: el **esfuerzo mental** y la **disrupción de la actividad**.

El **esfuerzo mental** apareció en casi todos los grupos focales. Fue mencionado por el mismo porcentaje de participantes en Madrid y Vitoria-Gasteiz, alrededor del 10%, siendo más relevante en el grupo de jóvenes con un 25%. Este atributo se define como el esfuerzo mental extra exigido a los usuarios al transbordar, ya que deben estar atentos para bajarse en una parada concreta. Además, el viajero debe ser capaz de concebir la red de TP e imaginarla espacialmente para poder establecer conexiones y ver qué ruta es la que más le conviene. No obstante, cabe destacar que el esfuerzo mental no apareció en los grupos de jubilados.

La **disrupción de la actividad** hace referencia a la utilidad del tiempo en vehículo, sobre todo en viajes largos cuando se puede utilizar el tiempo para leer, escuchar música, o incluso dormir. Este factor únicamente apareció en los grupos focales de Madrid, especialmente entre jóvenes. Los tiempos y distancias de viaje son mayores en Madrid y, por tanto, un mayor porcentaje de usuarios de TP realizan actividades mientras viajan. Esto se confirmó al analizar descriptivamente los datos de las encuestas piloto y definitivas. Por ello, los participantes de Madrid admitieron que cualquier transbordo supone una perturbación a la actividad realizada mientras viajan, incluso en una transferencia ideal en la que los tiempos caminando y de espera son iguales a cero. La disrupción de la actividad está relacionada con el esfuerzo mental: un usuario debe estar pendiente de cuándo debe bajarse, impidiéndole concentrarse totalmente en cualquier actividad que, por otra parte, debe interrumpir al salir del vehículo para transbordar.

La conclusión principal del análisis de los grupos focales es que la percepción de los transbordos está influenciada por una combinación de factores. Los grupos focales ayudaron a identificar las **variables comunes** en los dos casos de estudio: familiaridad con la ruta, motivo de viaje, tiempos caminando y de espera durante el transbordo, información en tiempo real, climatología y esfuerzo mental. Otros factores solo se identificaron como relevantes en un caso de estudio. En Madrid, la aglomeración de personas, cambio de nivel al transbordar y disrupción de la actividad. En Vitoria-Gasteiz los viajes en TP son más cortos y, por tanto, la opción

de una ruta con transbordo no compite con una ruta directa, sino con hacer o no la última etapa del viaje a pie. Este hecho explica la relevancia de la coordinación entre servicios y la desutilidad que origina.

5.3 Definición de las funciones de utilidad

La revisión bibliográfica y el análisis de los grupos focales en Madrid y Vitoria-Gasteiz permiten identificar las variables más relevantes en la desutilidad percibida al transbordar, que son la base de las funciones de utilidad. Incluyen únicamente variables de escenario, que varían entre situaciones de elección. En análisis posteriores, podrá estudiarse el impacto de otros atributos de tipo personal o de entorno. Las funciones de utilidad son distintas para cada caso de estudio, pues las penalizaciones de la transferencia varían entre ciudades (Iseki y Taylor, 2009). A continuación, se detallan las variables identificadas:

- **Modo** [*mode*]: toma el valor 1 si hace referencia a metro/tranvía y 0 a autobús.
- **Tiempo en vehículo** [*tveh*]: tiempo transcurrido, en minutos, a bordo de un medio de transporte.
- **Tiempo caminando** [*twalk*]: tiempo transcurrido, en minutos, desde el momento en que un viajero se baja de un vehículo y camina hasta llegar a la siguiente parada o estación.
- **Tiempo de espera** [*twait*]: tiempo transcurrido, en minutos, en una parada o estación esperando la llegada del siguiente vehículo.
- **Información en tiempo real** [*info*]: toma el valor 1 si hay paneles con información dinámica del tiempo de espera hasta el siguiente vehículo, y 0 en caso contrario.
- **Escaleras** (*sólo en Madrid*) [*stair*]: toma el valor 1 si hay escaleras durante el transbordo, y 0 en caso contrario. El valor siempre es 0 en transferencias entre autobuses. Cabe destacar que en Vitoria-Gasteiz no es necesario cambiar de nivel para transbordar. Por ello, esta variable solamente se incluye en Madrid.
- **Aglomeración de personas** (*sólo en Madrid*) [*crowd*]: toma el valor 1 si existe aglomeración de usuarios al transbordar, incluyendo la caminata y espera, y 0 en caso contrario. Esta variable únicamente se incluye en Madrid, al ser mencionada por el 60% de los participantes de los grupos focales, por tan solo el 22% en Vitoria-Gasteiz.
- **Tiempo de acceso** (*sólo en Vitoria-Gasteiz*) [*initwalk*]: tiempo inicial caminando y de espera, en minutos, que transcurre desde que un usuario inicia un viaje hasta que sube a un vehículo en una parada.
- **Tiempo de dispersión** (*sólo en Vitoria-Gasteiz*) [*finalwalk*]: tiempo final caminando, en minutos, que transcurre desde que un usuario abandona el último medio de transporte y llega a su destino. Tal y como se concluyó en el epígrafe anterior, en Vitoria-Gasteiz la alternativa al transbordo es realizar la

última etapa del viaje caminando, por lo que es necesario incluir el tiempo de dispersión para captar este efecto.

- **Climatología adversa** (sólo en Vitoria-Gasteiz) [*weather*]: toma el valor 1 si llueve y 0 si está despejado. En Vitoria-Gasteiz, el clima adverso provoca que un mayor porcentaje de usuarios transborde, que evitar caminar bajo condiciones meteorológicas adversas. En Madrid no se considera este atributo, pues los participantes de los grupos focales hacían referencia a la temperatura del interior de estaciones.

Estas variables se introducen en las funciones de utilidad, según la especificación de la utilidad genérica de la Ecuación 3.1. Cabe recordar que las funciones de utilidad representan alternativas que difieren en el número de transbordos, los modos utilizados en cada etapa del viaje, las características del lugar de transbordo y las condiciones bajo las cuales se realiza el viaje. El número de transbordos (i) es 0 o 1 en Vitoria-Gasteiz, y varía desde 0 a 2 en Madrid. No se consideran alternativas con un número mayor de transbordos, pues se estima que tan solo un 4% y 3% de los usuarios de TP en Vitoria-Gasteiz y Madrid transbordan en más de una y dos ocasiones, respectivamente. El valor de α_i , que captura la penalización pura por transferencia, es igual a cero en viajes sin transbordo, pues no existe penalización pura. Los atributos binarios que son constantes en todas las alternativas (información en tiempo real, escaleras, aglomeración de personas y climatología) no pueden aparecer en todas las funciones de utilidad, ya que se necesita un caso de referencia, sin estos atributos, para estimar diferencias relativas. A continuación, se muestran las funciones de utilidad resultantes.

En Madrid:

$$U(T_0) = \beta_{tveh00} \cdot tveh0 + \beta_{mode00} \cdot mode0 + \eta_0 \quad (5.1)$$

$$U(T_1) = \alpha_1 + \beta_{tveh01} \cdot tveh0 + \beta_{mode01} \cdot mode0 + \beta_{twalk11} \cdot twalk1 + \beta_{twait11} \cdot twait1 + \beta_{stair11} \cdot stair1 + \beta_{tveh11} \cdot tveh1 + \beta_{mode11} \cdot mode1 + \beta_{info1} \cdot info + \beta_{crowd1} \cdot crowd + \eta_1 \quad (5.2)$$

$$U(T_2) = \alpha_2 + \beta_{tveh02} \cdot tveh0 + \beta_{mode02} \cdot mode0 + \beta_{twalk12} \cdot twalk1 + \beta_{twait12} \cdot twait1 + \beta_{stair12} \cdot stair1 + \beta_{tveh12} \cdot tveh1 + \beta_{mode12} \cdot mode1 + \beta_{twalk22} \cdot twalk2 + \beta_{twait22} \cdot twait2 + \beta_{stair22} \cdot stair2 + \beta_{tveh22} \cdot tveh2 + \beta_{mode22} \cdot mode2 + \beta_{info2} \cdot info + \beta_{crowd2} \cdot crowd + \eta_2 \quad (5.3)$$

En Vitoria-Gasteiz:

$$U(T_0) = \beta_{initwalk0} \cdot initwalk + \beta_{tveh00} \cdot tveh0 + \beta_{mode00} \cdot mode0 + \beta_{finalwalk0} \cdot finalwalk + \eta_0 \quad (5.4)$$

$$U(T_1) = \alpha_1 + \beta_{initwalk1} \cdot initwalk + \beta_{tveh01} \cdot tveh0 + \beta_{mode01} \cdot mode0 + \beta_{twalk11} \cdot twalk1 + \beta_{twait11} \cdot twait1 + \beta_{tveh11} \cdot tveh1 + \beta_{mode11} \cdot mode1 + \beta_{finalwalk1} \cdot finalwalk + \beta_{info1} \cdot info + \beta_{weather1} \cdot weather + \eta_1 \quad (5.5)$$

Las constantes captan otras variables que no aparecen explícitamente en las funciones de utilidad, como el esfuerzo mental y la interrupción de la actividad, asociadas a la penalización pura por transferencia.

Cabe destacar que las funciones de utilidad no incluyen el coste del viaje, pues la mayoría de usuarios de TP de Madrid y Vitoria-Gasteiz viajan con títulos de transporte que permiten transbordar gratuitamente o con un coste muy bajo (Epígrafe 4.1). En estos casos, el coste es una variable que no influye en las elecciones de ruta con transbordo, independientemente del número de transferencias. Aunque la omisión del coste impide estimar la disposición del usuario a pagar, lo realmente importante es la equivalencia entre la percepción de la transferencia y el tiempo de viaje en vehículo (EIVM, *equivalent in-vehicle minutes*). Esta equivalencia es la forma habitual de estimar la desutilidad percibida al transbordar en la literatura (e.g. Fielbaum et al., 2016), que sí se puede calcular con la especificación de las funciones de utilidad.

6 DISEÑO Y DESARROLLO DE LAS ENCUESTAS

“Confía en el tiempo, que suele dar dulces salidas a muchas amargas dificultades.”

Miguel de Cervantes

Este capítulo detalla el proceso de estructuración, diseño y campañas de encuestas de las fases piloto y definitiva en Madrid y Vitoria-Gasteiz. El contenido supone la base de un artículo enviado al congreso Transportation Research Board, y presentado en formato póster a principios de 2017, en Washington D.C.:

Cascajo, R., Garcia-Martinez, A. y Monzon, A., 2017. Stated Preference Survey For Estimating Passenger Transfer Penalties: Design and Application to Madrid. 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board (TRB), 8-12 de enero, Washington, D.C., Estados Unidos.

Posteriormente, se incorporaron los cambios sugeridos en el congreso y el artículo se publicó en la revista European Transport Research Review (ETRR):

Cascajo, R., Garcia-Martinez, A. y Monzon, A., 2017. Stated Preference Survey for Estimating Passenger Transfer Penalties: Design and Application to Madrid. European Transport Research Review, 9(42), 1-11. ISSN: 1867-0717.

6.1 Estructura del trabajo de campo

La obtención de datos, además del diseño de la encuesta, precisa de una estructura de trabajo compatible con la metodología definida (Figura 6.1).

Figura 6.1. Estructura de las encuestas y su conexión con los modelos estadísticos.

En el Epígrafe 3.3 se indicó la necesidad de combinar los métodos de PR y PD para diseñar la encuesta con la que obtener los datos de la investigación. La parte de PD se diseñó con el software Ngene, una herramienta que permite obtener un diseño eficiente optimizado. La parte de PR se diseñó teniendo en cuenta las variables identificadas en el estado del arte. La campaña de encuestas se basó en un método mixto con entrega de tarjetas presencial a participantes potenciales, que posteriormente completaban la encuesta a través de internet. Por ello, la encuesta completa se cargó en un servidor web utilizando el lenguaje de programación HTML. Las respuestas obtenidas se almacenaron en una base de datos alojada en el mismo servidor web, que permitía descargar los datos para su tratamiento y análisis. Los datos se utilizaron para calibrar modelos MNL y ECL en la etapa piloto y definitiva, respectivamente, con el software NLogit. La calibración del modelo ECL permite cuantificar la desutilidad percibida al transbordar por cada uno de sus componentes. En los siguientes epígrafes se explican en detalle los pasos seguidos.

6.2 Diseño, realización y resultados de las encuestas piloto

Una encuesta piloto es una medida útil de precaución que conviene realizar antes de la encuesta principal (Richardson et al., 1995). De esta forma, se optó por la **realización de una encuesta piloto** en cada caso de estudio, persiguiendo un triple objetivo:

1. Identificar errores o malinterpretaciones de la encuesta antes de llevar a cabo la campaña de encuestas definitiva.
2. Adaptar el experimento de PD a cada caso de estudio a partir del análisis de los patrones de movilidad revelados, en caso de que las alternativas de las situaciones de elección difieran significativamente de la realidad.
3. Obtención de parámetros de atributos adaptados a un nivel local, con el fin de optimizar el diseño de las situaciones de elección.

En este epígrafe se detalla el diseño de la encuesta piloto, la campaña de datos y el análisis descriptivo de resultados, que alimentan el diseño de las encuestas y campañas de datos definitivas.

6.2.1 Diseño de la parte de preferencias reveladas

La parte de PR incluye **variables de tipo personal**. Es decir, aquellas que hacen referencia al encuestado o su viaje habitual y que no varían entre situaciones de elección. Según la revisión literaria y los resultados de los grupos focales, se eligieron los siguientes atributos:

I) Características del viaje habitual

- Origen y destino del viaje.
- Motivo del viaje.
- Modos utilizados durante el viaje y modos de acceso y dispersión.
- Tiempos puerta a puerta, caminando, de espera y en vehículo en el viaje.
- Número de transbordos realizados habitualmente.
- Tramos de escalera en el viaje.
- Tipo de título de transporte utilizado.
- Uso de aplicaciones móviles
- Viajar acompañado o con niños.
- Existencia de paneles de información en alguna de las estaciones/paradas del viaje.
- Actividad realizada durante el viaje.

II) Información personal y socioeconómica

- Edad.
- Género.
- Nivel de estudios y ocupación.
- Renta y número de personas del hogar familiar.
- Datos de contacto (correo electrónico y/o teléfono), en caso de querer participar en el sorteo por haber completado la encuesta.

Estos atributos se incluyeron en la encuesta piloto de cada caso de estudio siguiendo un orden lógico y estructurado.

6.2.2 *Diseño de la parte de preferencias declaradas*

La parte de PD incluye todas aquellas variables que difieren en las situaciones de elección hipotéticas que se muestran a los participantes. Es decir, **variables de escenario**, con influencia en la desutilidad percibida al transbordar.

En la metodología se indicó que un encuestado no es capaz de valorar más que un limitado número de variables (Sanko, 2001), por lo que el número de atributos no debe ser elevado. Asimismo, cabe distinguir entre variables según su dificultad de asimilación. Los atributos fácilmente asimilables que se incluyeron en la parte de PD fueron:

- **Información en tiempo real** (variable binaria). Existencia de paneles en paradas o estaciones con información sobre el tiempo restante hasta la llegada del siguiente vehículo. Esta variable se refleja en las situaciones de elección mediante un texto debajo del tiempo de espera que especifica si existe o no información en tiempo real.
- **Aglomeración de personas** (variable binaria). Hace referencia la existencia de un gran número de personas en un espacio limitado (vehículo, escaleras, parada, andén, vestíbulo, etc.). Esta variable se muestra gráficamente con un icono.
- **Climatología adversa** (variable binaria). Esta variable se incluyó de forma gráfica, en caso de existir tiempo atmosférico adverso.
- **Modos** entre los que se realiza el transbordo (autobús y metro en Madrid, y autobús y tranvía en Vitoria-Gasteiz), que se muestran gráficamente con iconos. Esta variable también podría ser difícil de asimilar, pues requiere un esfuerzo por parte del encuestado para imaginar las condiciones del transbordo entre combinaciones de modos.

Los atributos que añaden complejidad a la encuesta y que, por ello, deben limitarse, se recogen a continuación:

- **Tiempos de acceso y dispersión.** Se muestran con un icono similar al del tiempo caminando, especificando en un texto si se trata del tiempo de acceso, que también incluye el tiempo de espera, o dispersión.
- **Tiempo caminando** en cada transbordo. Se muestra con un icono y un texto que define claramente esta etapa del viaje y el tiempo necesario para completarla.
- **Tiempo de espera** en cada transbordo. Al igual que el tiempo caminando, se muestra con un icono y un texto que detalla el tiempo de espera.
- **Tiempo en vehículo.** Se muestra en texto debajo del icono que indica el modo de transporte.
- **Escaleras.** Se muestra con un icono indicando la existencia de escaleras. En un principio, se consideró incluir el número de tramos de escalera (ninguno, uno, dos, y dos o más) para captar la variable profundidad, que fue mencionada en los grupos focales. Sin embargo, este enfoque aumentó la complejidad de la encuesta y acabo siendo desechado, pues la información adicional que podría obtenerse no justifica el aumento de dificultad.

El diseño del experimento de PD se realizó con el software Ngene. No obstante, no es el único enfoque para este diseño experimental (consultar Johnson et al., 2013).

Software Ngene

Ngene es un software que permite generar diseños de experimentos de PD, con el objetivo de estimar modelos de elección, en particular, de la familia logit (ChoiceMetrics, 2014). Ngene permite diseñar experimentos de PD con numerosas metodologías, con las que es posible generar un amplio espectro de diseños experimentales: ortogonales, ortogonales óptimos, eficientes y bayesianos.

Siguiendo el manual del software, se deben introducir, en primer lugar, las funciones de utilidad con los parámetros de atributos, que conforman el modelo base. Los parámetros se obtienen de otros estudios similares, adaptándolos de forma que la utilidad de cada función y la probabilidad de elección entre alternativas sean similares. El segundo paso, el más delicado, consiste en elegir el tipo de modelo más apropiado en función del diseño requerido, tras lo cual Ngene genera las situaciones de elección hipotéticas del experimento. Para ello, se deben tomar varias decisiones, que siguen la estructura detallada en la metodología (Epígrafe 3.3):

- **Etiquetado.** Las alternativas, definidas por el número de funciones de utilidad en cada caso de estudio (tres en Madrid y dos en Vitoria-Gasteiz), contienen parámetros específicos. Por ejemplo, se espera que la desutilidad del tiempo caminando varíe entre alternativas, por lo que deben utilizarse parámetros específicos. De esta forma, se etiquetan las alternativas: cero, uno y dos transbordos en Madrid; cero y un transbordo en Vitoria-Gasteiz.

- **Elección de los atributos**, definidos en las funciones de utilidad, a partir de la revisión literaria y del análisis de los grupos focales.
- **Niveles de atributos**. Se definen en función del tipo de variable: ordinales binarias y de intervalo. Las binarias tienen dos niveles (0, 1), y para el resto se fijan tres niveles para captar efectos no lineales de los atributos.
- **Equilibrado de los niveles de atributos**. El diseño experimental escogido cumple la propiedad de equilibrio en los niveles de atributos, de forma que estos aparecen el mismo número de veces para cada atributo.
- **Rangos de los niveles de atributos**. En primer lugar, se estableció el valor de pivotación según los tiempos medios caminando, de espera, en vehículo, etc. que experimentan los usuarios de TP de cada caso de estudio, a partir del criterio de expertos de transporte y el Censo 2011 (INE, 2018b). Si alguno de los valores de pivotación no fuera correcto, se debe corregir en el proceso de generación del experimento de PD de la encuesta definitiva con los resultados de la encuesta piloto. Tras comprobar la bondad del ajuste del experimento de PD, el rango de los niveles de atributos se estableció en 2-5 minutos.
- **Tipo de diseño**. Se optó por un diseño factorial fraccionario de tipo eficiente, al disponer de información sobre los parámetros de atributos de estudios similares de la literatura. En este caso, un diseño eficiente ofrece mejores resultados que un diseño ortogonal (Bradley, 2009; Louviere et al., 2000; Rose et al., 2008; Rose y Bliemer, 2009).

A pesar de que el modelo que capta la desutilidad percibida al transbordar es el ECL, se recomienda especificar un diseño que optimice un modelo MNL. Esto se debe a que el software encuentra problemas en la generación de diseños para optimizar modelos ECL. No obstante, debe evaluarse el comportamiento del diseño MNL en un modelo ECL (con el comando *;eval*). Si el comportamiento es adecuado, el diseño de la encuesta no se ve afectado por esta decisión.

- **Situaciones de elección**. El número de situaciones de elección debe ser múltiplo del número de niveles de cada atributo y superior al número de parámetros definidos. Ngene generó 18 situaciones de elección, que se dividieron posteriormente en 2 y 3 bloques en Madrid y Vitoria-Gasteiz, respectivamente.

Si se opta por un diseño eficiente, es posible medir la eficiencia del diseño a través de varios indicadores, lo cual no es posible en diseños ortogonales. Los indicadores más utilizados son los siguientes:

- **D-error**. Se interpreta como la eficiencia del error o una medida de ineficiencia. Está basado en el determinante de la matriz varianza-covarianza. El objetivo es minimizar este valor en cada iteración del diseño del experimento.

- **A-error.** Se trata de una medida de eficiencia parecida a la anterior. Se diferencia de esta en que se basa en la traza de la matriz varianza-covarianza. El objetivo es minimizar este valor en cada iteración, aunque debe usarse con precaución si la escala de los parámetros de atributos es diferente.
- **B-estimate.** Se refiere al equilibrio de utilidad entre alternativas y se representa como un porcentaje. Un porcentaje alto se traduce en un mejor equilibrio entre alternativas.
- **S-estimate.** Se trata de una medida de la eficiencia del tamaño de la muestra. El resultado indica el número de respuestas necesarias para poder asegurar la significatividad de los atributos definidos en el diseño. El objetivo es minimizar este valor. Si se utilizan bloques, el tamaño de la muestra mínima será el resultado de multiplicar el valor del *S-estimate* por el número de bloques.

La salida de Ngene consiste, generalmente, en una tabla numérica, donde cada fila representa una situación de elección (ver ejemplo de la Tabla 6.10, que muestra 18 situaciones de elección en columnas y 25 filas con cada uno de los atributos definidos). Los números indican el valor que toman los atributos en cada situación de elección. Existen otras formas de codificar la salida del software. Las más comunes son: (1) codificación de diseño (0, 1, 2, 3, etc.), y (2) codificación ortogonal ($\{-1, 1\}$ para dos niveles, $\{-1, 0, 1\}$ para tres niveles, etc.).

El manual software incide en que no es sencillo generar un buen diseño experimental, pues existen billones de diseños y no es posible evaluarlos todos. Ngene es una herramienta que asiste en el proceso, simplificándolo. En los siguientes epígrafes se detalla el proceso de generación de situaciones de elección con Ngene en los dos casos de estudio.

Diseño piloto del experimento de PD en el caso de Madrid

En Madrid se definieron tres funciones de utilidad, que representan tres alternativas según el número de transbordos: T_0 (alternativa sin transbordo), T_1 (un transbordo) y T_2 (dos transbordos). El número de situaciones de elección, que debe ser múltiplo del número de niveles de cada atributo, se fijó en 18, con tres alternativas cada una. No obstante, se optó por mostrarlas dos a dos en la encuesta. Es decir, para cada situación de elección se mostraban las alternativas T_0 y T_1 en primer lugar, y posteriormente la misma alternativa T_1 y la opción T_2 . De esta forma, se obtiene mayor información que si se muestran las tres alternativas juntas, pues un individuo muestra dos preferencias de elección en lugar de solo una. También se decidió que si un encuestado no transborda en su viaje habitual, solamente se le mostraría las alternativas de viajes sin transbordo y con una transferencia, pues podría valorar equivocadamente la opción de transbordar en dos ocasiones al no estar familiarizado con ella.

Con estos condicionantes, un encuestado que revela realizar uno o más transbordos se enfrentaría a 36 situaciones de elección dos a dos, 18 entre cero y un transbordo, y 18 entre uno y dos transbordos. Bradley y Daly (1994) recomiendan no mostrar más de 10 situaciones de elección por encuestado (20 escenarios), pues en caso contrario podría responder aleatoriamente o incluso abandonar la encuesta. Siguiendo la recomendación de Louviere et al. (2000), se optó por un diseño con tres bloques, de forma que a cada usuario se le mostraban 12 situaciones de elección dos a dos (18 escenarios). El código HTML de la encuesta se programó de forma que un participante contestara al bloque de situaciones de elección con menos respuestas en ese momento. En resumen:

- Si el encuestado revela no realizar ningún transbordo habitualmente, se le muestran 6 situaciones de elección simples entre cero y un transbordo.
- Si el encuestado revela realizar uno o más transbordos habitualmente, se le muestran 6 situaciones de elección completas: 6 situaciones de elección entre cero y un transbordo, y 6 entre uno y dos transbordos.

Se estableció la creación de 1.000 candidatos, que es el número de situaciones de elección que Ngene genera aleatoriamente respetando los condicionantes impuestos, y que posteriormente evalúa para obtener las 18 situaciones de elección óptimas. En este caso, se definieron dos condicionantes, que tenían el objetivo de igualar la utilidad de las alternativas:

- El tiempo total de la alternativa con **un transbordo** es entre 3 y 10 minutos menor que el de la alternativa **sin transbordo**.
- El tiempo total de la alternativa con **dos transbordos** es entre 3 y 10 minutos menor que el de la alternativa con **un transbordo**.

El último paso consistió en introducir las funciones de utilidad, los parámetros y niveles de atributos. En el Anexo II, que detalla en profundidad algunos aspectos de la campaña de encuestas, se puede consultar la sintaxis utilizada en Ngene y el significado de cada comando (ver notas II.A y II.B). Los valores de partida de los parámetros de atributos se basaron en estudios similares, aunque posteriormente se modificaron para asegurar el equilibrio de utilidad entre alternativas (Huber y Zwerina, 1996). La Tabla 6.1 recoge los parámetros y niveles de atributos definidos finalmente en la generación de la parte de PD de la encuesta piloto de Madrid, y el cálculo de la utilidad de cada alternativa.

Tabla 6.1. Utilidades de las alternativas de la encuesta piloto de Madrid.

Función de utilidad	Parámetro	Valor del parámetro	Atributo	Niveles	Media de niveles	Utilidad
U (T ₀): sin transbordo	mode00	1,0	Modo	0, 1	0,5	0,50
	tveh00	-0,2	Tiempo en vehículo	35, 40, 45	40,0	-8,00
	Total					-7,50
U (T ₁): un transbordo	constant1	-1,0	Constante	-	-1,0	-1,00
	mode01	2,0	Primer modo	0, 1	0,5	1,00
	mode11	2,0	Último modo	0, 1	0,5	1,00
	tveh01	-0,2	Tiempo en el primer vehículo	9, 12, 15	12,0	-2,40
	tveh11	-0,2	Tiempo en el último vehículo	9, 12, 15	12,0	-2,40
	twalk11	-0,25	Tiempo caminando	2, 4, 6	4,0	-1,00
	twait11	-0,2	Tiempo de espera	2, 5, 8	5,0	-1,00
	stair11	-1,0	Escaleras	0, 1	0,5	-0,50
	info1	2,0	Información en tiempo real	0, 1	0,5	1,00
	crowd1	-2,0	Aglomeración de personas	0, 1	0,5	-1,00
Total						-6,30
U (T ₂): dos transbordos	constant2	-1,1	Constante	-	-1,1	-1,10
	mode02	1,1	Primer modo	0, 1	0,5	0,55
	mode12	1,1	Segundo modo	0, 1	0,5	0,55
	mode22	1,1	Último modo	0, 1	0,5	0,55
	tveh02	-0,2	Tiempo en el primer vehículo	4, 7, 10	7,0	-1,40
	tveh12	-0,2	Tiempo en el segundo vehículo	4, 7, 10	7,0	-1,40
	tveh22	-0,2	Tiempo en el último vehículo	4, 7, 10	7,0	-1,40
	twalk12	-0,4	Tiempo caminando en el primer transbordo	2, 3, 4	3,0	-1,20
	twalk22	-0,4	Tiempo caminando en el segundo transbordo	2, 3, 4	3,0	-1,20
	twait12	-0,3	Tiempo de espera en el primer transbordo	1, 3, 5	3,0	-0,90
	twait22	-0,3	Tiempo de espera en el segundo transbordo	1, 3, 5	3,0	-0,90
	stair12	-1,0	Escaleras en el primer transbordo	0, 1	0,5	-0,50
	stair22	-1,0	Escaleras en el segundo transbordo	0, 1	0,5	-0,50
	info2	1,1	Información en tiempo real	0, 1	0,5	0,55
	crowd2	-1,1	Aglomeración de personas	0, 1	0,5	-0,55
Total						-8,85

Ngene estima la utilidad de cada alternativa como la suma de las utilidades individuales resultantes de multiplicar el valor de cada parámetro por la media de los niveles del atributo asociado. Como se puede observar, la utilidad de las alternativas es similar, por lo que se cumple el principio de equilibrado de las alternativas. La Tabla 6.2 muestra las 18 situaciones de elección generadas por Ngene.

Tabla 6.2. Situaciones de elección generadas para la encuesta piloto de Madrid.

Atributos/Situación de elección		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>U (T₀): sin transbordo</i>																			
mode00	Modo	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
tveh00	Tiempo en vehículo	40	35	45	45	45	35	35	45	40	45	45	40	40	40	35	45	35	45
<i>U (T₁): un transbordo</i>																			
mode01	Primer modo	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0
mode11	Último modo	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1
tveh01	Tiempo en el primer vehículo	9	12	12	15	15	9	12	15	15	15	12	9	9	15	9	15	15	9
tveh11	Tiempo en el último vehículo	15	9	15	15	15	9	9	9	12	15	15	12	15	9	15	12	9	15
twalk11	Tiempo caminando	2	2	2	2	6	6	2	6	6	6	6	2	4	4	2	2	4	6
twait11	Tiempo de espera	5	8	8	5	5	5	8	8	2	2	5	8	8	8	2	8	2	8
stair11	Escaleras	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
info1	Información en tiempo real	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
crowd1	Aglomeración de personas	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1
<i>U (T₂): dos transbordos</i>																			
mode02	Primer modo	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
mode12	Segundo modo	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
mode22	Último modo	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0
tveh02	Tiempo en el primer vehículo	4	4	4	10	4	4	4	7	10	10	4	4	4	10	4	4	7	4
tveh12	Tiempo en el segundo vehículo	4	7	7	10	4	7	4	10	4	7	10	4	4	4	4	4	4	10
tveh22	Tiempo en el último vehículo	4	4	4	7	10	4	4	7	10	4	4	10	7	4	4	7	4	7
twalk12	Tiempo caminando en el primer transbordo	2	2	4	2	4	2	2	3	3	2	2	2	3	3	4	4	3	4
twalk22	Tiempo caminando en el segundo transbordo	4	2	3	2	4	2	4	2	2	4	4	2	3	3	2	3	4	3
twait12	Tiempo de espera en el primer transbordo	5	5	5	1	3	1	5	3	1	1	3	1	5	1	3	3	1	1
twait22	Tiempo de espera en el segundo transbordo	1	1	5	1	3	5	3	1	1	1	5	3	5	3	1	3	3	1
stair12	Escaleras en el primer transbordo	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
stair22	Escaleras en el segundo transbordo	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
info2	Información en tiempo real	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
crowd2	Aglomeración de personas	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0
D-error = 0,480466																			
A-error = 2,015744																			
B-estimate = 77,087722																			
S-estimate = 24,608082																			

El valor del parámetro *S-estimate* indica que se deben obtener 24,6 respuestas completas para evaluar la significatividad de los atributos. No obstante, este valor debe multiplicarse por tres, igual al número de bloques definidos de situaciones de elección. Por tanto, la muestra debe estar formada por un mínimo de 74 individuos. Los valores del resto de estadísticos son aceptables, validando el diseño del experimento.

Diseño piloto del experimento de PD en el caso de Vitoria-Gasteiz

El procedimiento de generación de la parte de PD fue similar al seguido en Madrid. No obstante, el número de alternativas difiere, pues se definieron dos funciones de utilidad: T_0 (alternativa sin transbordo) y T_1 (un transbordo). Se establecieron 18 situaciones de elección con dos alternativas cada una. Se optó por un diseño con dos bloques, de forma que a cada encuestado se le mostraran 9 situaciones de elección entre no transbordar y realizar una transferencia. Cada encuestado responde al bloque de situaciones de elección con menos respuestas en ese momento.

Al igual que en el caso de Madrid, se definió la creación de 1.000 candidatos, entre los que se seleccionaron las 18 situaciones de elección finales, respetando los condicionantes impuestos:

- La suma de los tiempos de acceso, dispersión y caminando de la alternativa con un transbordo es menor que la suma de tiempos de acceso y dispersión de la alternativa sin transbordo.
- El tiempo total de la alternativa sin transbordo está comprendido entre 18 y 25 minutos.
- El tiempo total de la alternativa con un transbordo es entre 5 y 15 minutos menor que el de la alternativa sin transbordo. Como se puede observar, esta diferencia es mayor que en el caso de Madrid. En el test de validación se descubrió que si esta diferencia era menor, los participantes elegían sistemáticamente la alternativa sin transbordo.

A continuación, se introdujeron las funciones de utilidad, los parámetros y niveles de atributos. La nota II.C del Anexo II recoge la sintaxis utilizada en Ngene. Los parámetros de atributos, que proceden de estudios similares, se modificaron con el objetivo de equilibrar las alternativas (Huber y Zwerina, 1996). La Tabla 6.3 muestra los parámetros y niveles de atributos definidos en la generación de las situaciones de elección de la encuesta piloto, y el cálculo de la utilidad de cada alternativa.

Tabla 6.3. Utilidades de las alternativas de la encuesta piloto de Vitoria-Gasteiz.

Función de utilidad	Parámetro	Valor del parámetro	Atributo	Niveles	Media de niveles	Utilidad
U (T ₀): sin transbordo	tacc0	-0,4	Tiempo de acceso	1, 3, 5	3,0	-1,20
	mode00	2,0	Modo	0, 1	0,5	1,00
	tveh00	-0,4	Tiempo en vehículo	13, 16, 19	16,0	-6,40
	tegr0	-0,4	Tiempo de dispersión	1, 3, 5	3,0	-1,20
Total						-7,80
U (T ₁): un transbordo	constant1	-3,0	Constante	-	-3,0	-3,00
	tacc1	-0,4	Tiempo de acceso	1, 2, 3	2,0	-0,80
	mode01	2,0	Primer modo	0, 1	0,5	1,00
	mode11	2,0	Último modo	0, 1	0,5	1,00
	tveh01	-0,4	Tiempo en el primer vehículo	5, 7, 9	7,0	-2,80
	tveh11	-0,4	Tiempo en el último vehículo	5, 7, 9	7,0	-2,80
	twalk1	-0,4	Tiempo caminando	1, 2, 3	2,0	-0,80
	twait1	-0,35	Tiempo de espera	2, 3, 4	3,0	-1,05
	tegr1	-0,4	Tiempo de dispersión	1, 2, 3	2,0	-0,80
	info1	2,0	Información en tiempo real	0, 1	0,5	1,00
	atm1	2,0	Climatología adversa	0, 1	0,5	1,00
Total						-8,05

Se observa que las alternativas cumplen el principio de equilibrado. La Tabla 6.4 muestra las 18 situaciones de elección que generó Ngene tras ejecutar la sintaxis.

Tabla 6.4. Situaciones de elección generadas para la encuesta piloto de Vitoria-Gasteiz.

Atributos/Situación de elección		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
U (T₀): sin transbordo																			
tacc0	Tiempo de acceso	3	5	5	5	1	1	3	3	5	3	5	3	3	5	3	5	3	5
mode00	Modo	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
tveh00	Tiempo en vehículo	19	16	13	16	16	19	16	16	16	13	13	16	19	16	16	16	16	16
tegr0	Tiempo de dispersión	1	1	5	3	5	3	5	5	3	5	5	5	1	3	5	3	5	3
U (T₁): un transbordo																			
tacc1	Tiempo de acceso	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	1	2	1	1	3
mode01	Primer modo	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
mode11	Último modo	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
tveh01	Tiempo en el primer vehículo	5	5	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	5	5	5	7	5
tveh11	Tiempo en el último vehículo	5	5	5	5	5	7	5	5	7	5	5	5	5	7	5	5	5	5
twalk1	Tiempo caminando	1	2	1	2	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2
twait1	Tiempo de espera	4	2	2	2	2	2	4	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2
tegr1	Tiempo de dispersión	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1
info1	Información en tiempo real	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
atm1	Climatología adversa	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
D-error = 0,812806																			
A-error = 2,065946																			
B-estimate = 86,953648																			
S-estimate = 24,223313																			

El número mínimo de individuos de la muestra, que se obtiene al multiplicar el valor de *S-estimate* (24,22) por el número de bloques, es 49. El resto de estadísticos tienen valores aceptables, validando el diseño del experimento.

6.2.3 Realización de las encuestas piloto

La campaña de datos piloto comenzó con un test de validación de la encuesta con trabajadores del Centro de Estudios Ambientales de Vitoria-Gasteiz. El objetivo fue depurar errores de comprensión y malinterpretaciones de preguntas, así como comprobar que los iconos del experimento de PD se entendían y que las situaciones de elección eran asimilables. Para más detalles, se recomienda consultar la nota II.D del Anexo II. El diseño y estructura de las encuestas piloto es similar al de las definitivas, que puede consultarse en el Epígrafe 6.3.2.

Las encuestas piloto se llevaron a cabo en 2015 a finales de noviembre en Madrid, y principios de diciembre en Vitoria-Gasteiz. Se utilizó el método de captación de encuestados detallado en el Epígrafe 3.5.1, que combina las ventajas de los métodos presencial y online. Este enfoque es particularmente útil en esta investigación, pues los usuarios de TP que viajan en hora punta generalmente no disponen de tiempo suficiente para contestar a una encuesta convencional. Por ejemplo, el intervalo medio del metro de Madrid no supera los 5 minutos en hora punta, lo que dificulta realizar encuestas complejas, como en este caso.

Se diseñaron tarjetas de tamaño A6, incluyendo logos de las entidades participantes, información del proyecto y un enlace a la página web de la encuesta. Se fijó un plazo de 7 días desde la entrega de la tarjeta para responder. El encuestador, además de entregar la tarjeta, resumía brevemente, en unos 30 segundos, los siguientes puntos:

- El nombre del proyecto (TRANSFER), la institución que lo realiza (TRANSyT) y el apoyo institucional recibido (el Consorcio Regional de Transportes de Madrid y Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz).
- El objetivo de la encuesta: estimar la desutilidad que perciben los usuarios de TP al transbordar.
- El modo de acceder a la encuesta introduciendo el código de acceso único de la tarjeta, y el plazo de 7 días para completarla.
- El tiempo necesario en rellenar la encuesta, alrededor de 10 minutos.
- El incentivo que se sorteó, con un valor de 100€, entre los participantes que completaran la encuesta.

Campaña de encuestas piloto en Madrid

En primer lugar, se definieron los criterios de reparto para que la muestra obtenida fuera representativa de la población. Estos se basaron en la igualdad de género y en

que todas las edades estuvieran representadas. El método de captación se realizó de dos formas:

- **Reparto de tarjetas en entradas/salidas de metro** frecuentadas por estudiantes y trabajadores que transbordaran en su viaje habitual. Una pareja de encuestadores repartieron tarjetas en la salida de las estaciones de metro de Argüelles entre las 8:30 y las 9:00 horas, y Ciudad Universitaria y Alonso Martínez en horario de 17:00 a 19:00 horas (Figura 6.2). Se repartieron un total de 200 tarjetas (Figura 6.3) los días 25 y 26 de noviembre de 2015, obteniendo 25 respuestas completas con un ratio de respuesta del 12,5%. El número de respuestas fue insuficiente, por lo que se complementó el método de reparto con otro basado en redes sociales y correo electrónico.

Figura 6.2. Puntos de reparto de la campaña de encuestas piloto de Madrid.

- **A través de redes sociales y correo electrónico.** El enlace de acceso a la encuesta online se publicó en Twitter y Facebook. Cualquier interesado en realizar la encuesta debía solicitar un código de acceso por mensaje privado. Por otro lado, se envió un correo electrónico con un código de acceso único a varios contactos que habían colaborado en otros proyectos de investigación y que mostraron interés en participar en futuros proyectos. Se consiguió un total de 69 respuestas completas.

Figura 6.3. Tarjeta repartida en la campaña de encuestas piloto de Madrid.

En total, se obtuvieron 94 respuestas completas. Entre estas, se descartaron 15 respuestas de encuestados que no pertenecían al público objetivo, al declarar que utilizaban habitualmente autobuses interurbanos o cercanías en sus desplazamientos. Por tanto, el número de respuestas válidas fue de 79, superando el tamaño mínimo de la muestra de 74 individuos definido por el parámetro *S-estimate*. De esta forma, la campaña de encuestas piloto de Madrid se dio por finalizada.

La campaña de datos permitió depurar pequeños errores en el diseño de la encuesta definitiva y reformular o incluir nuevas preguntas (Epígrafe 6.3.2). En cuanto al procedimiento de reparto, se identificaron varios aspectos susceptibles de mejorar:

- El porcentaje de personas que aceptaban la tarjeta fue bajo en comparación con el de otros proyectos similares. Se concluyó que la localización de reparto no fue la ideal. En la campaña de encuestas definitivas, se solicitaría un permiso especial para repartir las tarjetas en andenes de metro y paradas de autobús.

- En horario de tarde, el porcentaje de usuarios de TP no habituales es mayor. Se decidió que el horario de la campaña de encuestas definitivas se centrara en la hora punta de la mañana y comenzara más temprano, alrededor de las 8:00 horas.
- Los encuestadores debían identificarse claramente con los logos del CRTM, de TRANSyT y del proyecto, reduciendo la desconfianza de los usuarios de TP de participar en la encuesta.
- El incentivo era insuficiente según el ratio de respuesta, por lo que se decidió ofrecer un regalo de mayor cuantía en las campañas de encuestas definitivas.

Finalmente, el incentivo sorteado por valor de 100€ se entregó el 14 de diciembre de 2015 (ver nota II.E del Anexo II).

Campaña de encuestas piloto en Vitoria-Gasteiz

Al igual que en Madrid, los criterios de reparto se basaron en que todas las edades estuvieran representadas en la muestra y que existiera igualdad de género. La campaña se realizó del 1 al 3 de diciembre de 2015, en horario de 10:00 a 18:00 horas, por tres investigadores del proyecto TRANSFER y tres trabajadores de la empresa especializada en encuestas QUOR. La captación de participantes se llevó a cabo en los alrededores del Palacio de Congresos Europa (Figura 6.4), frecuentada por estudiantes y trabajadores, y donde convivían líneas de autobuses y una de tranvía. De esta forma, se aseguraba captar usuarios de TP que transbordaran en sus desplazamientos.

Se siguió la primera parte del método de captación detallado en el Epígrafe 3.5.1, resumiendo a usuarios de TP el objetivo del proyecto y la encuesta, la duración, el incentivo, etc. en 30 segundos. Posteriormente, se les invitaba a una sala del Palacio de Congresos Europa donde se contaba con 3 ordenadores portátiles y conexión a internet para asistirles en la realización de la encuesta. De esta forma, se obtuvieron 50 respuestas válidas, superando el tamaño mínimo de muestra de 49 individuos definido por el parámetro *S-estimate*, y dando por finalizada la campaña de encuestas piloto.

Se identificaron errores de comprensión de las preguntas, mejorando el diseño de las encuestas definitivas. Se concluyó que el método de captación fue adecuado, por lo que se decidió repetirlo junto al método mixto de captación presencial y realización de encuesta online. Los aspectos susceptibles de mejora fueron los siguientes:

- Los encuestadores debían identificarse claramente con los logos del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, de TRANSyT y del proyecto, reduciendo la desconfianza de los usuarios de TP de participar en la encuesta.

- El incentivo fue insuficiente, por lo que se decidió aumentar su cuantía en la campaña de encuestas definitiva.

Por último, se hizo entrega del incentivo sorteado, por valor de 100€, el 19 de enero de 2016 (ver nota II.E del Anexo II).

Figura 6.4. Zonas de reparto de la campaña de encuestas piloto de Vitoria-Gasteiz.

6.2.4 Resultados de las encuestas piloto: ajuste de los modelos Logit Multinomial

El análisis de resultados de las encuestas piloto comprende dos etapas:

- Análisis descriptivo de resultados, que permite entender las características personales y de movilidad de la muestra. Este análisis, que puede consultarse en el Anexo III, es somero, al tratarse de las encuestas piloto. En el Capítulo 7 se analizan descriptivamente los resultados de las encuestas definitivas con mayor detalle.
- Ajuste de modelos MNL para cada caso de estudio con los datos obtenidos del experimento de PD de las encuestas piloto. El objetivo es obtener parámetros de atributos adaptados para generar la parte de PD de las encuestas definitivas. El ajuste de los modelos se realiza con el software Limdep NLogit.

Software Limdep NLogit

El software estadístico Limdep NLogit permite estimar modelos de elección discreta (Greene, 2007), que son los apropiados para cuantificar la desutilidad percibida al transbordar. NLogit se creó en 1996 como un módulo añadido del software Limdep, ofreciendo la posibilidad de estimar modelos anidados, una extensión de los modelos MNL. Más tarde, se añadieron los modelos multinomial probit y logit mixto. El software se desarrolló fruto de una colaboración entre William Greene y David Hensher, y se basa en las teorías de autores como Dan McFadden y Kenneth Train. En la investigación, se utiliza la versión 4.0 del software.

La sintaxis es similar a la del software Ngene. En el Anexo II (nota II.F) se detallan los comandos más importantes utilizados para estimar los modelos MNL y ECL de Madrid y Vitoria-Gasteiz.

La salida del software especifica los parámetros de los atributos y el p-valor. Los primeros indican el impacto de la variación en una unidad del atributo asociado y, en definitiva, la cuantificación de la desutilidad de cada uno. El p-valor indica la significatividad del parámetro. Si es inferior a 0,05, con un nivel de significatividad del 95%, se concluye que existe evidencia estadística de que el valor del parámetro es distinto de cero e igual al estimado. A continuación, se muestra el ajuste de los modelos MNL de cada caso de estudio.

Ajuste del modelo MNL de Madrid

El modelo MNL de Madrid tiene tres variables dependientes:

- El **número de alternativas**, relacionadas con el número de funciones de utilidad definidas: T_0 (sin transbordo), T_1 (un transbordo) y T_2 (dos transbordos).

- El **número de alternativas mostradas**, igual a dos, pues estas se muestran dos a dos.
- La **alternativa elegida** en cada situación de elección.

La sintaxis utilizada para crear el modelo puede consultarse en el Anexo II (ver nota II.G). La Tabla 6.5 muestra la media, desviación típica, y valores máximo y mínimo de cada variable independiente del modelo, mientras que la Tabla 6.6 presenta la salida del software con los resultados del modelo.

Tabla 6.5. Análisis descriptivo de las variables del modelo MNL de Madrid.

Función de utilidad	Variable		Media	Desv. típica	Mínimo	Máximo
U(T ₀): sin transbordo (474 observaciones)	Modo	mode0	0,500	0,500	0,00	1,00
	Tiempo en vehículo	tveh0	40,823	4,171	35,00	45,00
U(T ₁): un transbordo (738 observaciones)	Primer modo	mode0	0,394	0,489	0,00	1,00
	Último modo	mode1	0,386	0,487	0,00	1,00
	Tiempo en el primer vehículo	tveh0	12,317	2,642	9,00	15,00
	Tiempo en el último vehículo	tveh1	12,504	2,696	9,00	15,00
	Tiempo caminando	twalk1	3,875	1,809	2,00	6,00
	Tiempo de espera	twait1	5,841	2,423	2,00	8,00
	Escaleras	stair1	0,500	0,500	0,00	1,00
	Información en tiempo real	info	0,386	0,487	0,00	1,00
	Aglomeración de personas	crowd	0,668	0,471	0,00	1,00
U(T ₂): dos transbordos (264 observaciones)	Primer modo	mode0	0,614	0,488	0,00	1,00
	Segundo modo	mode1	0,500	0,500	0,00	1,00
	Último modo	mode2	0,617	0,487	0,00	1,00
	Tiempo en el primer vehículo	tveh0	5,636	2,478	4,00	10,00
	Tiempo en el segundo vehículo	tveh1	5,920	2,446	4,00	10,00
	Tiempo en el último vehículo	tveh2	5,795	2,216	4,00	10,00
	Tiempo caminando en el primer transbordo	twalk1	2,890	0,836	2,00	4,00
	Tiempo caminando en el segundo transbordo	twalk2	2,947	0,830	2,00	4,00
	Tiempo de espera en el primer transbordo	twait1	2,652	1,664	1,00	5,00
	Tiempo de espera en el segundo transbordo	twait2	2,568	1,563	1,00	5,00
	Escaleras en el primer transbordo	stair1	0,284	0,452	0,00	1,00
	Escaleras en el segundo transbordo	stair2	0,470	0,500	0,00	1,00
	Información en tiempo real	info	0,557	0,498	0,00	1,00
	Aglomeración de personas	crowd	0,489	0,501	0,00	1,00

Tabla 6.6. Resultados del modelo MNL en Madrid.

Función de utilidad	Variables		Parámetro	p-valor
U(T ₀): sin transbordo	Modo	mode0	-,1547	,6389
	Tiempo en vehículo	tveh0	-,3573	,0000*
U(T ₁): un transbordo	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	constant1	-3,9160	,0053*
	Primer modo	mode0	,6236	,0961**
	Último modo	mode1	,3647	,3869
	Tiempo en el primer vehículo	tveh0	-,3705	,0001*
	Tiempo en el último vehículo	tveh1	-,3448	,0008*
	Tiempo caminando	twalk1	-,3407	,0010*
	Tiempo de espera	twait1	-,3320	,0009*
	Escaleras	stair1	-,4515	,1113
	Información en tiempo real	info	,1691	,6370
	Aglomeración de personas	crowd	-1,0272	,0038*
U(T ₂): dos transbordos	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	constant2	-5,7962	,0375*
	Primer modo	mode0	-,0133	,9803
	Segundo modo	mode1	1,5490	,0059*
	Último modo	mode2	1,0633	,0605**
	Tiempo en el primer vehículo	tveh0	-,3255	,0264*
	Tiempo en el segundo vehículo	tveh1	-,4372	,0006*
	Tiempo en el último vehículo	tveh2	-,2790	,0153*
	Tiempo caminando en el primer transbordo	twalk1	-,3570	,2880
	Tiempo caminando en el segundo transbordo	twalk2	-,9148	,0044*
	Tiempo de espera en el primer transbordo	twait1	-,4379	,0127*
	Tiempo de espera en el segundo transbordo	twait2	-,3712	,0662**
	Escaleras en el primer transbordo	stair1	-1,1385	,0277*
	Escaleras en el segundo transbordo	stair2	-,7091	,1267
	Información en tiempo real	info	,3593	,3911
	Aglomeración de personas	crowd	-2,3642	,0008*
Número de observaciones = 738				
Función de máxima verosimilitud = -367,6629				
Chi squared = 705,57085 (27 grados de libertad) (Sig. = ,0000)				

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

Los parámetros de 11 atributos no son significativos a un nivel del 95%. Entre estos, destacan el modo, escaleras, información en tiempo real, tiempo caminando en el primer transbordo y tiempo de espera en el segundo transbordo. Esto podría indicar que las variables no son relevantes en la percepción de la desutilidad al transbordar, o que los parámetros de atributos utilizados en generación de la parte de PD de la encuesta piloto no eran adecuados. Las variables no significativas se identificaron como importantes en la penalización del transbordo en la revisión literaria y en los grupos focales, por lo que a priori se deben corregir los valores de los parámetros de atributos en el diseño de la parte de PD de las encuestas definitivas.

Ajuste del modelo MNL de Vitoria-Gasteiz

Las variables dependientes del modelo MNL de Vitoria-Gasteiz son tres, al igual que en Madrid.

- El **número de alternativas**, relacionadas con el número de funciones de utilidad definidas: T_0 (sin transbordo) y T_1 (un transbordo).
- El **número de alternativas mostradas**, igual a dos.
- La **alternativa elegida** en cada situación de elección.

La sintaxis del modelo se puede consultar en el Anexo II (ver nota II.H). La Tabla 6.7 muestra la media, desviación típica, y valores máximo y mínimo de cada variable independiente del modelo, y la Tabla 6.8 presenta los resultados del modelo.

Tabla 6.7. Análisis descriptivo de las variables del modelo MNL de Vitoria-Gasteiz.

Función de utilidad	Variable		Media	Desv. típica	Mínimo	Máximo
U(T_0): sin transbordo (450 observaciones)	Modo	mode0	0,724	0,447	0,00	1,00
	Tiempo de acceso	tacc0	3,667	1,321	1,00	5,00
	Tiempo en vehículo	tveh0	16,000	1,745	13,00	19,00
	Tiempo de dispersión	tegr0	3,667	1,498	1,00	5,00
U(T_1): un transbordo (450 observaciones)	Primer modo	mode0	0,222	0,416	0,00	1,00
	Último modo	mode1	0,222	0,416	0,00	1,00
	Tiempo de acceso	tacc1	1,333	0,667	1,00	3,00
	Tiempo en el primer vehículo	tveh0	5,338	0,750	5,00	7,00
	Tiempo en el último vehículo	tveh1	5,329	0,742	5,00	7,00
	Tiempo caminando	twalk1	1,382	0,678	1,00	3,00
	Tiempo de espera	twait1	2,333	0,667	2,00	4,00
	Tiempo de dispersión	tegr1	1,276	0,650	1,00	3,00
	Información en tiempo real	info	0,276	0,447	0,00	1,00
	Climatología adversa	atm	0,222	0,416	0,00	1,00

Tabla 6.8. Resultados del modelo MNL en Vitoria-Gasteiz.

Función de utilidad	Variables		Parámetro	p-valor
U(T ₀): sin transbordo	Modo	mode0	-,494	,6216
	Tiempo de acceso	tacc0	-,792	,4286
	Tiempo en vehículo	tveh0	-,620	,5356
	Tiempo de dispersión	tegr0	-1,272	,2035
U(T ₁): un transbordo	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	constant1	,384	,7010
	Primer modo	mode0	-,583	,5597
	Último modo	mode1	,038	,9700
	Tiempo de acceso	tacc1	-,910	,3629
	Tiempo en el primer vehículo	tveh0	-1,304	,1923
	Tiempo en el último vehículo	tveh1	-1,238	,2157
	Tiempo caminando	twalk1	-1,217	,2236
	Tiempo de espera	twait1	-,801	,4231
	Tiempo de dispersión	tegr1	-1,758	,0787**
	Información en tiempo real	info	-,148	,8820
	Climatología adversa	weather	-,192	,8475
Número de observaciones = 450				
Función de máxima verosimilitud = -306,5843				
Chi squared = 8,09245 (14 grados de libertad) (Sig. = ,8844)				

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

Las variables del modelo no son significativas a un nivel del 95%. El valor de *Chi-squared* es igual a 8,09 con una significatividad del 0,8844, por lo que el conjunto de variables independientes del modelo no explican adecuadamente la variable dependiente del mismo. Esto puede indicar que las variables del modelo no influyen en la percepción del transbordo, o que el diseño del experimento de PD no es adecuado.

Cabe destacar que no es posible modificar drásticamente el diseño de la parte de PD, incluyendo nuevas alternativas o variables, sin antes realizar otra encuesta piloto. En este punto, se confirmó que el diseño del experimento de PD era correcto, pues los atributos incluidos en las alternativas de elección procedían de los resultados de los grupos focales, y las utilidades de las alternativas estaban equilibradas. Es decir, *a priori* las variables del modelo de la Tabla 6.8 no influyen en la percepción del transbordo en Vitoria-Gasteiz. No obstante, se decidió modificar ligeramente el diseño del experimento de PD en base a que el tiempo de dispersión resultó significativo a un nivel del 90% en el modelo, y a una de las observaciones de los grupos focales: “En Vitoria-Gasteiz los viajes en TP son más cortos y, por tanto, la opción de una ruta con transbordo no compite con una ruta directa, sino con hacer o no la última etapa del viaje a pie”. De esta forma, se decidió variar los niveles de algunos atributos en el diseño de la parte de PD, en especial del tiempo de dispersión.

6.3 Diseño y realización de las encuestas definitivas

Este epígrafe detalla el diseño del experimento definitivo de PD, así como la estructura de las encuestas finales. En este caso, no se dedica un apartado específico al diseño de la parte de PR, pues es idéntico al desarrollado en las encuestas piloto (Epígrafe 6.2.1). No obstante, el análisis de los resultados de las campañas de encuestas piloto permitió afinar el diseño de las encuestas definitivas.

6.3.1 Diseño de la parte de preferencias declaradas

Las funciones de utilidad y las variables definidas en el diseño del experimento de PD son las mismas que se utilizaron en el diseño piloto (Epígrafe 6.2.2). A continuación, se muestra el diseño definitivo de la parte de PD de cada caso de estudio.

Diseño definitivo del experimento de PD en el caso de Madrid

El procedimiento reproduce el seguido en el diseño de la encuesta piloto (Epígrafe 6.2.2). Los parámetros de atributos se ajustan en Ngene con los resultados obtenidos del modelo MNL de la Tabla 6.6, con el objetivo de adaptar el experimento al caso de estudio. No obstante, es necesario equilibrar la utilidad de las alternativas para evitar la predominancia de alguna de ellas (Huber y Zwerina, 1996), por lo que los parámetros de atributos finales difieren ligeramente de los resultantes del modelo MNL. La sintaxis utilizada en Ngene, similar a la de la encuesta piloto, se puede consultar en el Anexo II (ver nota II.I)

Los valores de los parámetros de atributos no significativos en el modelo MNL no se introdujeron en el diseño de las situaciones de elección. Estos valores se modificaron para cumplir con el criterio de equilibrio de utilidad entre alternativas, intentando respetar el orden de magnitud obtenido en estudios similares. En caso de que el diseño de PD no fuera satisfactorio, debería procederse a generar uno nuevo y a realizar una campaña de encuestas adicional. La Tabla 6.9 muestra los parámetros y niveles de atributos de la generación de las situaciones de elección de la encuesta definitiva de Madrid, y la utilidad de cada alternativa. Los niveles de atributos no se modifican con respecto al diseño piloto. La razón es que los parámetros de atributos con tres niveles son significativos en el modelo MNL en la mayoría de los casos.

Tabla 6.9. Utilidades de las alternativas de la encuesta definitiva de Madrid.

Función de utilidad	Parámetro	Valor del parámetro	Atributo	Niveles	Media de niveles	Utilidad
U (T ₀): sin transbordo	mode00	0,5000	Modo	0, 1	0,5	0,2500
	tveh00	-0,3573	Tiempo en vehículo	35, 40, 45	40	-14,292
	Total					-14,042
U (T ₁): un transbordo	constant1	-3,9160	Constante	-	-3,9160	-3,9160
	mode01	0,6236	Primer modo	0, 1	0,5	0,3118
	mode11	0,6000	Último modo	0, 1	0,5	0,3000
	tveh01	-0,3705	Tiempo en el primer vehículo	9, 12, 15	12,0	-4,4460
	tveh11	-0,3448	Tiempo en el último vehículo	9, 12, 15	12,0	-4,1376
	twalk11	-0,3407	Tiempo caminando	2, 4, 6	4,0	-1,3628
	twait11	-0,3320	Tiempo de espera	2, 5, 8	5,0	-1,6600
	stair11	-0,7000	Escaleras	0, 1	0,5	-0,3500
	info1	0,7000	Información en tiempo real	0, 1	0,5	0,3500
	crowd1	-1,0272	Aglomeración de personas	0, 1	0,5	-0,5136
	Total					-15,424
U (T ₂): dos transbordos	constant2	-5,7962	Constante	-	-5,7962	-5,7962
	mode02	1,5000	Primer modo	0, 1	0,5	0,7500
	mode12	1,5490	Segundo modo	0, 1	0,5	0,7745
	mode22	1,5000	Último modo	0, 1	0,5	0,7500
	tveh02	-0,3255	Tiempo en el primer vehículo	4, 7, 10	7,0	-2,2785
	tveh12	-0,4372	Tiempo en el segundo vehículo	4, 7, 10	7,0	-3,0604
	tveh22	-0,2790	Tiempo en el último vehículo	4, 7, 10	7,0	-1,9530
	twalk12	-0,3570	Tiempo caminando en el primer transbordo	2, 3, 4	3,0	-1,0710
	twalk22	-0,9148	Tiempo caminando en el segundo transbordo	2, 3, 4	3,0	-2,7444
	twait12	-0,4379	Tiempo de espera en el primer transbordo	1, 3, 5	3,0	-1,3137
	twait22	-0,3712	Tiempo de espera en el segundo transbordo	1, 3, 5	3,0	-1,1136
	stair12	-1,1385	Escaleras en el primer transbordo	0, 1	0,5	-0,5693
	stair22	-0,7091	Escaleras en el segundo transbordo	0, 1	0,5	-0,3546
	info2	0,7000	Información en tiempo real	0, 1	0,5	0,3500
	crowd2	-2,3642	Aglomeración de personas	0, 1	0,5	-1,1823
	Total					-18,458

La utilidad de las alternativas es similar. De hecho, las diferencias de utilidad entre alternativas son menores que en la fase piloto. El incremento de desutilidad entre las alternativas que aportan mayor y menor utilidad es de 31,4%, menor que el 40,5% del piloto. La Tabla 6.10 muestra las 18 situaciones de elección generadas por Ngene.

Tabla 6.10. Situaciones de elección generadas para la encuesta definitiva de Madrid.

Atributos/Situación de elección		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>U (T₀): sin transbordo</i>																			
mode00	Modo	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
tveh00	Tiempo en vehículo	45	40	45	45	40	40	45	35	45	40	35	40	40	45	45	40	40	45
<i>U (T₁): un transbordo</i>																			
mode01	Primer modo	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
mode11	Último modo	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
tveh01	Tiempo en el primer vehículo	9	15	15	15	15	12	15	9	12	9	12	9	15	15	15	9	15	9
tveh11	Tiempo en el último vehículo	15	9	9	9	15	12	15	9	15	12	12	15	9	15	9	12	9	15
twalk11	Tiempo caminando	6	2	4	6	2	2	6	6	2	2	2	6	6	4	4	2	2	6
twait11	Tiempo de espera	8	5	8	8	2	5	2	5	8	8	5	2	2	2	8	8	8	8
stair11	Escaleras	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
info1	Información en tiempo real	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0
crowd1	Aglomeración de personas	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0
<i>U (T₂): dos transbordos</i>																			
mode02	Primer modo	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0
mode12	Segundo modo	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1
mode22	Último modo	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0
tveh02	Tiempo en el primer vehículo	4	4	4	7	7	4	10	4	10	4	4	10	7	7	4	4	4	4
tveh12	Tiempo en el segundo vehículo	10	7	7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	10	7	4	4	4
tveh22	Tiempo en el último vehículo	10	4	7	10	4	4	10	4	4	4	7	4	4	4	4	10	10	10
twalk12	Tiempo caminando en el primer transbordo	2	2	4	3	3	2	3	4	3	3	2	2	4	4	3	2	4	2
twalk22	Tiempo caminando en el segundo transbordo	2	4	4	2	2	3	4	2	4	2	2	2	2	2	4	2	3	2
twait12	Tiempo de espera en el primer transbordo	3	1	1	5	5	1	1	5	5	1	5	1	1	1	5	1	1	3
twait22	Tiempo de espera en el segundo transbordo	1	1	5	3	1	5	1	1	3	5	3	5	3	1	1	1	3	5
stair12	Escaleras en el primer transbordo	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
stair22	Escaleras en el segundo transbordo	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
info2	Información en tiempo real	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
crowd2	Aglomeración de personas	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
D-error = 0,472682																			
A-error = 1,632125																			
B-estimate = 82,270295																			
S-estimate = 25,428061																			

El valor del parámetro S-estimate es igual a 25,4, lo que indica que se debe obtener una muestra mínima de 77 individuos, una vez multiplicado por el número de bloques. Este valor es ligeramente superior al obtenido en el diseño piloto, igual a 74 individuos. En cambio, se produce una mejora en el resto de estadísticos, lo que indica que el diseño es más eficiente, validándolo.

Diseño definitivo del experimento de PD en el caso de Vitoria-Gasteiz

La generación de situaciones de elección sigue el procedimiento utilizado en la encuesta piloto (Epígrafe 6.2.2). En este caso, no se utilizaron los resultados del modelo MNL de la Tabla 6.8 para ajustar los valores de los parámetros de atributos, pues las variables no eran significativas. Estos resultados motivaron el reenfoque del diseño.

La modificación más importante respecto al diseño piloto consistió en que los tiempos de acceso, el primer modo y el tiempo en el primer vehículo fueran iguales en todas las situaciones de elección. Es decir, se definió la primera etapa del viaje como una constante. En la especificación del modelo, los atributos constantes no pueden aparecer en todas las alternativas, pues se necesita un caso de referencia para estimar diferencias relativas.

El diseño de la parte de PD se reorientó en base a las conclusiones de los grupos focales. En concreto, se tuvo en cuenta que *“en Vitoria-Gasteiz los viajes en TP son más cortos y, por tanto, la opción de una ruta con transbordo no compite con una ruta directa, sino con hacer o no la última etapa del viaje a pie”*. De esta forma, se modificaron los niveles del tiempo de dispersión de la alternativa sin transbordo para que esta etapa del viaje se asemejara en tiempo a la realización de un transbordo (ver Figura V.8 del Anexo V).

El cambio en el diseño hizo necesario modificar levemente las restricciones impuestas al software Ngene. Se omitió la primera condición, pues generaba un desequilibrio entre alternativas, y se varió ligeramente la tercera. En resumen, las condiciones fueron las siguientes:

- El tiempo total de la alternativa sin transbordo está comprendido entre 18 y 25 minutos.
- El tiempo total de la alternativa con un transbordo es entre 5 minutos menor y 5 minutos mayor que el de la alternativa sin transbordo.

La sintaxis utilizada en Ngene, similar a la de la encuesta piloto, se puede consultar en el Anexo II (ver nota II.J). Los valores de los parámetros de atributos del diseño piloto se mantuvieron, modificándolos ligeramente para cumplir con el criterio del equilibrio entre alternativas. La Tabla 6.11 presenta los parámetros y niveles de atributos de la generación de las situaciones de elección de la encuesta definitiva de Vitoria-Gasteiz, y la utilidad de cada alternativa.

Tabla 6.11. Utilidades de las alternativas de la encuesta definitiva de Vitoria-Gasteiz.

Función de utilidad	Parámetro	Valor del parámetro	Atributo	Niveles	Media de niveles	Utilidad
U (T ₀): sin transbordo	tacc0	-	Tiempo de acceso	-	-	-0,30
	mode00	-	Modo	-	-	0,25
	tveh00	-	Tiempo en vehículo	-	-	-1,60
	tegr0	-0,3	Tiempo de dispersión	12, 14, 16	14,0	-4,20
Total						-5,85
U (T ₁): un transbordo	constant1	-1,5	Constante	-	-1,5	-1,50
	tacc1	-0,3	Tiempo de acceso	0, 1, 2	1,0	-0,30
	mode01	0,5	Primer modo	0, 1	0,5	0,25
	mode11	0,5	Último modo	0, 1	0,5	0,25
	tveh01	-0,2	Tiempo en el primer vehículo	6, 8, 10	8,0	-1,60
	tveh11	-0,25	Tiempo en el último vehículo	6, 8, 10	8,0	-2,00
	twalk1	-0,4	Tiempo caminando	0, 1, 2	1,0	-0,40
	twait1	-0,3	Tiempo de espera	2, 3, 5	3,3	-1,00
	tegr1	-0,3	Tiempo de dispersión	0, 1, 2	1,0	-0,30
	info1	1,0	Información en tiempo real	0, 1	0,5	0,50
	atm1	1,0	Climatología adversa	0, 1	0,5	0,50
Total						-5,60

La diferencia de utilidad entre alternativas es similar a la de la fase piloto. El incremento de desutilidad entre las alternativas es del 4,3%, por el 3,1% anterior. La Tabla 6.12 muestra la salida del software Ngene, con las 18 situaciones de elección definitivas.

Tabla 6.12. Situaciones de elección generadas para la encuesta definitiva de Vitoria-Gasteiz.

Atributos/Situación de elección		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
U (T₀): sin transbordo																			
tacc0	Tiempo de acceso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mode00	Modo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tveh00	Tiempo en vehículo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tegr0	Tiempo de dispersión	14	12	14	12	16	16	12	16	16	12	12	12	16	16	16	14	14	14
U (T₁): un transbordo																			
tacc1	Tiempo de acceso	2	2	0	1	0	0	1	2	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0
mode01	Primer modo	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
mode11	Último modo	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
tveh01	Tiempo en el primer vehículo	6	6	6	6	6	8	6	6	6	10	10	10	6	6	8	6	10	10
tveh11	Tiempo en el último vehículo	6	6	8	6	10	10	10	10	6	6	6	6	10	6	6	10	6	6
twalk1	Tiempo caminando	2	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	1	2	0	2	2	2	2
twait1	Tiempo de espera	2	2	2	5	2	5	2	3	3	2	2	2	2	5	2	5	2	5
tegr1	Tiempo de dispersión	0	2	2	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	1	2	0	0	2
info1	Información en tiempo real	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1
atm1	Climatología adversa	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
D-error = 0,375239																			
A-error = 0,797053																			
B-estimate = 88,357361																			
S-estimate = 23,152401																			

En base al valor del parámetro S-estimate y el número de bloques, la muestra definitiva debe estar formada por un mínimo de 47 individuos, que mejora ligeramente el obtenido en el diseño piloto, igual a 49. Además, el resto de estadísticos mejoran con respecto a la fase piloto, por lo que el diseño es más eficiente, validando las situaciones de elección generadas.

6.3.2 Diseño y estructura de las encuestas definitivas

A continuación se detalla la lógica de las encuestas definitivas, tal y como se mostraba a los participantes en la página web, que es similar a la de las encuestas piloto. Las encuestas se dividen en tres secciones: (a) caracterización del viaje habitual, (b) experimento de PD con las situaciones de elección, y (c) datos socioeconómicos e información personal. El tiempo necesario para completarla era de 10-15 minutos en función de si el encuestado transbordaba habitualmente, pues se le solicitaba mayor cantidad de información. En la parte inferior, se incluye una barra de progreso con el porcentaje de la encuesta completado en cada momento. Las encuestas definitivas de Madrid y Vitoria-Gasteiz se pueden consultar en los Anexos IV y V.

- Introducción del código único de acceso. En la página inicial, antes de comenzar la encuesta, se pide al encuestado que introduzca el código único de acceso de la tarjeta.
- Sección a): caracterización del viaje habitual.
 - **Página 1.** Se muestra una breve descripción de la misma y del proyecto TRANSFER, indicando su objetivo: *identificar y evaluar los diferentes factores que molestan al usuario a la hora de realizar un transbordo, de manera que se pueda actuar sobre ellos y reducir las molestias que ocasionan*. Asimismo, se indica el incentivo por completar la encuesta para fomentar la participación. En el caso de Vitoria-Gasteiz, se ofrece la opción de realizar la encuesta en castellano o euskera². A continuación, se pregunta por la ocupación. Según la respuesta, aparecen preguntas concretas siguiendo la lógica de la Figura 6.5

² La encuesta fue traducida en su totalidad por miembros del CEA (Centro de Estudios Ambientales) del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.

Figura 6.5. Lógica de la caracterización del viaje de las encuestas definitivas.

- **Página 2.** Hace referencia al viaje habitual en TP, que el encuestado debía imaginar en función de la afirmación de la primera página. Se pregunta por el motivo y hora de comienzo del viaje, y el número de transbordos realizados habitualmente.
 - **Página 3,** que trata el inicio del viaje. Se pregunta por el tiempo de viaje de puerta a puerta, origen del viaje, tiempo de acceso, medio de acceso, tiempo de espera inicial, primer modo y tiempo en vehículo en el primer modo. En el caso de Madrid, si el encuestado revela viajar en autobús interurbano o cercanías, una condición lógica le redirige al final de la encuesta, pues no formaría parte del público objetivo de la investigación.
 - **Página 4,** relativa a la caracterización del transbordo, que se mostraba si el encuestado revela transbordar en la página anterior. Se pregunta por el tiempo caminando y de espera, el modo de transporte utilizado y el tiempo en vehículo. Si el encuestado revela transbordar en dos ocasiones, se le dirige a una nueva página para caracterizar la segunda transferencia. Y así, sucesivamente hasta caracterizar todos los transbordos.
 - **Página 5,** referida al destino final del viaje. Se pregunta por el tiempo y modo de dispersión y el destino del viaje.
 - **Página 6,** que recoge datos generales del viaje: tipo de billete utilizado, si el viaje se realiza con niños pequeños, utilización de aplicaciones móviles para consultar el tiempo de espera, existencia de información en tiempo real en paneles de paradas y estaciones, señalización del transbordo y actividad realizada durante el viaje.
- Sección b), experimento de PD. Antes de comenzar esta parte, se pide al encuestado que haga un ejercicio de imaginación, eligiendo una opción de viaje entre cada dos mostradas. Este ejercicio se repite entre 9 y 12 ocasiones. Tras la parte de PD, se pregunta por la importancia y satisfacción de factores relacionados con el transbordo: (1) disponibilidad de información en tiempo real, (2) existencia de cobertura de telefonía móvil, (3) paradas y estaciones resguardadas del viento y lluvia, (4) disponibilidad de asientos en paradas y andenes, y (5) valoración general del transbordo en el total del viaje. En

Vitoria-Gasteiz no se preguntó por el segundo factor, ya que los transbordos se realizan en superficie y siempre existe cobertura. El quinto factor se pregunta si el encuestado revela previamente realizar transferencias habitualmente. Estas preguntas corresponden a PR, pero se incluyen en este punto ya que el encuestado puede valorarlas fácilmente tras haber realizado el ejercicio de imaginación sobre transbordos del experimento de PD. En estas preguntas se utilizan *sliders*, que puede desplazarse libremente con el ratón desde 0 (poca importancia y satisfacción) hasta 100 (mucha importancia y satisfacción) (ver Figura IV.9 del Anexo IV).

- Sección c), datos socioeconómicos e información personal. En la última página, se pregunta por las características socioeconómicas del encuestado: género, edad, nivel de estudios, rango de ingresos mensuales netos del hogar y un correo electrónico o teléfono de contacto en caso de querer participar en el sorteo. Por último, el encuestado puede realizar un comentario adicional de forma voluntaria en una caja de texto.

Tras finalizar la encuesta, se agradece la participación y se recuerda el número de encuesta, que coincide con el código único de acceso, con el que el encuestado participa en el sorteo. En caso de facilitar una dirección de correo electrónico, se envía un mensaje de forma automática con el contenido de esta última página.

6.3.3 Campañas de encuestas definitivas

El objetivo de las campañas de encuestas definitivas es obtener información de una muestra representativa de la población que viaja habitualmente en TP para cada caso de estudio. Los datos obtenidos permiten cuantificar la penalización de los componentes del transbordo mediante el ajuste de modelos ECL.

Tras definir la muestra objetivo, se eligieron puntos de la red de TP con varias líneas de transporte para captar usuarios que transbordaran habitualmente. El método de captación de encuestados se detalla en el Epígrafe 3.5.1.

Las campañas de encuestas se realizaron en abril de 2016. Se diseñaron tarjetas de tamaño A6 (Figura 6.7), incluyendo los logos de las entidades participantes y fijando un plazo de 7 días para completar la encuesta desde la entrega de la tarjeta. A continuación, se detalla la realización de encuestas definitivas de Madrid y Vitoria-Gasteiz.

Campaña de encuestas definitiva de Madrid

Los criterios elegidos para definir la muestra objetivo fueron la edad y el género de usuarios de TP. Para ello, se consultó el Censo de 2011 (INE, 2018b), filtrando las personas que viajan en TP.

- **Criterio 1 - reparto por género:** la muestra de usuarios debía estar compuesta por un 40% de hombres y un 60% de mujeres.
- **Criterio 2 - reparto por edad:** la muestra de usuarios debía estar formada por un 5% de personas entre 15-24 años, 40% entre 25-39 años, 40% entre 40-54 años, y un 15% entre 55-69 años.

Figura 6.6. Puntos de reparto de la campaña de encuestas definitiva de Madrid.

El reparto de tarjetas se realizó en puntos de captación que cumplieran los siguientes condicionantes:

- En las inmediaciones de cada punto debía haber una estación de metro donde confluyeran varias líneas, y que ninguna de ellas fuera de cercanías.
- Los puntos, en su conjunto, debían cubrir homogéneamente la almendra central de Madrid.

Así, los puntos de captación seleccionados fueron los siguientes (se indican las estaciones de metro cercanas para identificarlas con facilidad): Canal, Pacífico, Manuel Becerra, Oporto, Alonso Martínez, Barrio del Pilar y Prosperidad (Figura 6.6). Los puntos de captación representan a siete líneas del metro de Madrid.

El tamaño mínimo de la muestra es de 77 individuos. No obstante, se fijó como objetivo obtener 250 respuestas válidas, de forma que la base de datos resultante permitiera realizar otros análisis con un alto grado de desagregación. En base al ratio de respuesta de otros proyectos que utilizaron el mismo método de captación, alrededor del 20%, se estimó que debían repartirse 2.000 tarjetas. De esta forma, se debía conseguir un ratio de respuesta de al menos un 12,5%.

En el marco del proyecto TRANSFER, se contrató a ocho encuestadores entre estudiantes de la UPM, formando cuatro parejas. Antes de que comenzara la campaña de encuestas, se les hizo entrega de las tarjetas, un identificador personal, un chaleco reflectante y un permiso emitido por el Metro de Madrid.

La campaña de encuestas definitiva tuvo lugar entre el 11 y el 14 de abril de 2016, ambos inclusive. El horario de reparto de tarjetas se fijó de 7:00 a 10:30 horas en días laborables, de lunes a jueves. La Figura 6.7 muestra una de las tarjetas repartidas.

Figura 6.7. Tarjeta repartida en la campaña de encuestas definitiva de Madrid.

La Tabla 6.13 muestra la distribución de la población que viaja en TP por edad y género, junto a la distribución de la muestra tras la primera fase de la campaña de encuestas. En total, se consiguieron 247 respuestas. El número de respuestas obtenido fue inferior al requerido en los grupos de hombres entre 40 y 54 años y mujeres entre 55 y 69 años. A pesar de haber cumplido los criterios de reparto, se observa un mayor ratio de respuestas del grupo de jóvenes. Estos están habituados a nuevas tecnologías y al uso de internet, y quizás el incentivo les motiva más a completar la encuesta que a otros grupos de mayor edad.

Tabla 6.13. Número de respuestas de la primera ola de encuestas de Madrid.

Género	Mujeres					Hombres				
Edad	15-24	25-39	40-54	55-69	Total	15-24	25-39	40-54	55-69	Total
Distribución de la población	3,0%	24,0%	24,0%	9,0%	60,0%	2,0%	16,0%	16,0%	6,0%	40,0%
Distribución de la muestra	9,3%	21,5%	23,9%	5,3%	60,0%	3,2%	19,0%	12,1%	5,7%	40,0%
Número de respuestas	23	53	59	13	148	8	47	30	14	99

En este punto, se puede realizar un muestreo aleatorio para equilibrar los porcentajes de respuestas obtenidos en función de la distribución de la población. Sin embargo, se reduciría considerablemente el número de respuestas válidas. Por ello, se diseñó una nueva ola de encuestas enfocada a los grupos con menor número de respuestas. Se contrató a dos encuestadores, estudiantes de la UPM, formando una pareja. Se eligieron dos nuevos puntos de captación, correspondientes a las estaciones de metro de Argüelles y Goya, con lo que el número de líneas de metro representadas se elevó de siete a nueve (Figura 6.6). El horario y la metodología de reparto no se modificaron respecto a la primera ola de encuestas, repartiendo un total de 400 tarjetas.

Figura 6.8. Campaña de encuestas definitiva de Madrid.

La Tabla 6.14 presenta el número de respuestas válidas obtenidas en la segunda ola, que se sumó al número de respuestas de la primera.

Tabla 6.14. Número de respuestas de la segunda ola de encuestas de Madrid.

Género	Mujeres					Hombres				
	15-24	25-39	40-54	55-69	Total	15-24	25-39	40-54	55-69	Total
Número de respuestas	0	7	12	11	30	0	0	9	9	18

La Tabla 6.15 muestra el número total de respuestas válidas obtenidas. Se confeccionó una submuestra aleatoria de 245 individuos a partir de la muestra total de 295 respuestas para garantizar la representatividad de la población. Se evitó la ponderación de los grupos según género y edad, pues puede causar problemas en el modelo final cuando se estiman efectos causales. Varios autores han investigado la aplicación de pesos en muestras de individuos, sin alcanzar conclusiones sobre la idoneidad de su uso (Pfefferman, 1993; Schouten et al., 2009; Solon et al., 2013). La submuestra permitió ajustar la distribución de la muestra obtenida a la de la población, dando por finalizada la campaña de encuestas.

Tabla 6.15. Resumen de la campaña de encuestas definitiva de Madrid.

Género	Mujeres					Hombres				
	15-24	25-39	40-54	55-69	Total	15-24	25-39	40-54	55-69	Total
Distribución de la población	3,0%	24,0%	24,0%	9,0%	60,0%	2,0%	16,0%	16,0%	6,0%	40,0%
Distribución de la muestra	7,8%	20,4%	24,1%	8,1%	60,4%	2,7%	15,9%	13,2%	7,8%	39,6%
Número de respuestas	23	60	71	24	178	8	47	39	23	117
Distribución de la submuestra aleatoria	2,9%	24,1%	24,1%	9,0%	60,1%	2,0%	15,9%	15,9%	6,1%	39,9%
Núm. Resp. Sub. aleatoria	7	59	59	22	147	5	39	39	15	98

Finalmente, el 13 de junio de 2016 se entregó el incentivo sorteado, con un valor de 200€, al encuestado número 415.879.459 (ver nota II.E del Anexo II).

Campaña de encuestas definitiva de Vitoria-Gasteiz

En el marco del proyecto TRANSFER, la campaña de encuestas definitiva se subcontrató a la empresa local QUOR, especializada en encuestas. Esta decisión estuvo motivada por contar con encuestadores que conocieran la ciudad.

La muestra objetivo de Vitoria-Gasteiz se compuso de trabajadores y estudiantes residentes en la ciudad que utilizaran el TP con frecuencia, y con una edad comprendida entre 15 y 69 años. El criterio principal para definir la muestra objetivo fue el género, para lo que se consultó el Padrón Municipal de Habitantes (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2016). De esta forma, la muestra debía estar formada por un 49,8% de hombres y un 50,2% de mujeres. Además, se aseguró que en la muestra estuvieran representadas todas las edades y los seis distritos de la ciudad. La empresa QUOR definió las zonas y el método de captación, según dos procedimientos:

- Reparto de tarjetas en zonas comerciales, nodos de transporte, puntos cercanos al ayuntamiento, los hospitales de Txagurritxu y Santiago, y las áreas de la universidad y del juzgado (Figura 6.10), siguiendo el método de captación detallado en el Epígrafe 3.5.1. La Figura 6.9 muestra el diseño de la tarjeta.

Figura 6.9. Tarjeta repartida en la campaña de encuestas definitiva de Vitoria-Gasteiz.

- Captación a pie de calle en los alrededores del Palacio de Congresos Europa. Se invitaba a los participantes a una sala del palacio con conexión a internet para realizar la encuesta con la ayuda de un encuestador. Este procedimiento resultó ser el más adecuado para grupos de edad avanzada. En la campaña de encuestas piloto ya se detectó que tenían dificultades para completar la encuesta.

Figura 6.10. Zonas de reparto de la campaña de encuestas definitiva de Vitoria-Gasteiz.

La muestra debía estar formada por un mínimo de 47 individuos. El número de respuestas deseadas se fijó entre 150 y 200, con el objetivo de realizar análisis más desagregados. Se decidió repartir 1.600 tarjetas, además del método de captación de personas a pie de calle. La campaña de encuestas definitiva tuvo lugar entre los días 11 y 15 de abril de 2016, ambos inclusive.

La Tabla 6.16 muestra la distribución de la población y de la muestra por género, y el número de respuestas válidas tras la primera ola de la campaña de encuestas. Se obtuvieron 207 respuestas, con una participación de mujeres mayor a la requerida. Asimismo, el porcentaje de respuestas de personas con edades comprendidas entre 55 y 69 años era insuficiente, por lo que se decidió realizar una nueva ola de encuestas centrada en el género masculino y en el rango de edad 55-69.

Tabla 6.16. Número de respuestas de la primera ola de encuestas de Vitoria-Gasteiz.

	Mujeres	Hombres
Distribución de la población	50,2%	49,8%
Distribución de la muestra	61,4%	38,6%
Número de respuestas	127	80

Las zonas, horarios y métodos de reparto se mantuvieron en la segunda ola. Se repartieron 200 tarjetas en paralelo a la captación de personas a pie de calle durante la segunda quincena de abril de 2016. Se consiguieron 14 nuevas respuestas, aunque seguía sin cumplirse el criterio de género. Por ello, se compuso una submuestra aleatoria de 179 individuos a partir de la muestra total de 221 respuestas. La Tabla 6.17 muestra el número de respuestas válidas obtenidas en la segunda ola, así como la composición de la submuestra aleatoria.

Tabla 6.17. Resumen de la campaña de encuestas definitiva de Vitoria-Gasteiz.

	Mujeres	Hombres
Distribución de la población	50,2%	49,8%
Distribución de la muestra	59,7%	40,3%
Número de respuestas total	132	89
Distribución de la submuestra aleatoria	50,3%	49,7%
Número de respuestas en la submuestra aleatoria	90	89

La entrega del incentivo sorteado, con un valor de 200€, se realizó el 20 de junio de 2016 en el Centro de Estudios Ambientales de Vitoria-Gasteiz al encuestado número 291.794.528.

***PARTE III: ANÁLISIS DE RESULTADOS,
CALIBRACIÓN DE MODELOS Y DISEÑO DE
POLÍTICAS***

7 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS ENCUESTAS DEFINITIVAS

“Es mejor estar callado y parecer estúpido que abrir la boca y disipar las dudas.”

Abraham Lincoln

En este capítulo, se analizan descriptivamente los datos obtenidos en las encuestas definitivas de Madrid y Vitoria-Gasteiz. El objetivo principal es identificar variables y tendencias que puedan ser relevantes en la percepción del transbordo, contribuyendo al ajuste de los modelos ECL finales.

7.1 Características socioeconómicas y del viaje

En Madrid se obtuvieron 373 respuestas de las 2.400 tarjetas repartidas, de las cuales 361 fueron completas. El ratio de respuesta fue del 15%. El 86% de los encuestados estaban empleados y el 10% eran estudiantes, mientras que el 4% eran desempleados o jubilados (Figura 7.1). Este último grupo no se considera parte del análisis, pues no son usuarios de TP que viajan de forma recurrente. También se desestiman los usuarios de autobuses interurbanos y cercanías, quienes no realizan el experimento de PD, pues el público objetivo lo forman usuarios de metro y autobuses urbanos. De esta forma, se tienen 295 respuestas válidas. Tal y como se indica en el Epígrafe 6.3.3, se define una submuestra aleatoria de 245 para adaptar las respuestas según género y edad a los porcentajes definidos en la campaña de encuestas, que es la que se analiza en este apartado. En la submuestra, el 60% de los encuestados son mujeres, la edad media es de 41 años y la renta media se encuentra entre 1.000 y 2.000 euros. El 95% de los encuestados son empleados y el 5% estudiantes, y el 99% declaró que utiliza el TP habitualmente para ir al trabajo o centro de estudios.

Figura 7.1. Ocupación de los encuestados (Madrid).

En Vitoria-Gasteiz se repartieron 1.800 tarjetas en combinación con un método de captación a pie de calle. En total, se obtuvieron 284 respuestas, de las cuales 279 se realizaron completamente. El 66% de los participantes estaban empleados y el 25% eran estudiantes, mientras que el 5% eran desempleados y el 1% jubilados (Figura 7.2). Tras descartar las respuestas de los participantes que no forman parte del público objetivo (jubilados y usuarios de TP no habituales), la muestra obtenida se redujo a 221 respuestas válidas. A partir de estas, se definió la submuestra aleatoria de 179 respuestas. En esta, el 50% de los encuestados son mujeres, la edad media es de 40 años y la renta media se encuentra entre 1.000 y 2.000 euros. El 89% de los encuestados son empleados, mientras que el 11% restante son estudiantes. El 89%

declaró que utiliza regularmente el TP por motivos de movilidad obligada, y el 97% afirmó que viaja habitualmente en TP.

Figura 7.2. Ocupación de los encuestados (Vitoria-Gasteiz).

En cuanto al tipo de billete utilizado, el 66% de los encuestados de Madrid viaja con una Tarjeta de Transporte Público (TTP), mientras que el 32% utiliza un abono de 10 viajes (metrobús) (Figura 7.3). Únicamente el 2% viaja con billete sencillo. Tan solo el 0,7% de los participantes declaró viajar habitualmente con niños, y el 30% afirmó utilizar una aplicación móvil para consultar el tiempo real de espera.

Figura 7.3. Tipo de billete utilizado (Madrid).

En Vitoria-Gasteiz, el 88% de los participantes declaró utilizar la tarjeta BAT normal, mientras que un 4% afirmó viajar con un billete de ida o de ida y vuelta (Figura 7.4). El 12% de los participantes viaja acompañado de al menos un niño y el 13% admitió utilizar aplicaciones móviles para consultar el tiempo real de espera, que contrasta con el porcentaje de Madrid, igual al 30%.

Figura 7.4. Tipo de billete utilizado (Vitoria-Gasteiz).

La Figura 7.5 muestra las actividades realizadas durante el viaje en Madrid, según género y número de transbordos realizados. Los encuestados suelen leer mientras viajan (70%) o usando el teléfono móvil (54%). El porcentaje de usuarios que leen, estudian, duermen y escuchan música aumenta con el número de transbordos, mientras que el uso del teléfono móvil disminuye. El 10% de los participantes declaró no realizar alguna actividad.

Figura 7.5. Actividades realizadas al viajar según género y número de transbordos (Madrid).

Los encuestados de Vitoria-Gasteiz principalmente declararon utilizar el móvil (57%), escuchar música (25%) y leer (21%), mientras que el 23% declaró no realizar alguna actividad. Los datos difieren del caso de Madrid, donde la actividad principal es leer (70%), lo que sugiere que los usuarios de TP de Vitoria-Gasteiz aprovechan el tiempo de viaje en menor medida. Este hecho puede estar motivado

por el tiempo medio de viaje puerta a puerta, que en Vitoria-Gasteiz es igual a 24 minutos, 15 minutos inferior al de Madrid. Esta diferencia de tiempo podría disuadir al usuario de Vitoria-Gasteiz de iniciar una actividad en el viaje, según el porcentaje de participantes que declara no realizar actividades, superior en 13 puntos porcentuales al de Madrid.

Figura 7.6. Actividades realizadas al viajar según género y número de transbordos (Vitoria-Gasteiz).

En el siguiente epígrafe se realiza un análisis de las actividades realizadas al viajar según el tiempo total en vehículo.

7.2 Número de transbordos y tiempo de viaje

El número medio de transbordos por persona y viaje en Madrid es de 1,02, por lo que transbordar se considera como algo habitual. Este número difiere de la media de transbordos de la encuesta piloto, igual a 0,72, debido a que el porcentaje de estudiantes era mayor. Estos suelen vivir en el campus cerca de la universidad, por lo que sus trayectos no requieren transbordar. La Figura 7.7 muestra que el 23% de los encuestados no suele transbordar, mientras que el 77% realiza al menos una transferencia.

En Vitoria-Gasteiz, la media de transbordos por persona y viaje es de 0,32, significativamente inferior a la de Madrid. El 73% de los encuestados no suele transbordar y el 23% realiza una transferencia, mientras que únicamente el 4% transfiere en más de una ocasión.

El número de transbordo por persona en ambos casos de estudio debe interpretarse teniendo en cuenta que los puntos de reparto de tarjetas en la campaña de encuestas

eran lugares donde confluyen varias líneas de transporte y, por tanto, la probabilidad de que un encuestado transborde es mayor. Estos ratios serían presumiblemente menores de haber captado a participantes en las cabeceras de línea. No obstante, este hecho no tiene influencia en los resultados de los modelos estadísticos definitivos, pues se tiene en cuenta el efecto del atributo número de transbordos.

Figura 7.7. Porcentaje de encuestados por número de transbordos (Madrid y Vitoria-Gasteiz).

La diferencia entre el número medio de transbordos se debe, en parte, a la duración media del viaje puerta a puerta. En Madrid es de 39 minutos, que supone un incremento del 50% respecto al tiempo de viaje en Vitoria-Gasteiz, igual a 24 minutos. La Figura 7.8 muestra que en Madrid la duración de casi el 35% de los viajes es igual o inferior a 30 minutos. Tan solo el 5% de los mismos es inferior a 20 minutos, mientras que, en el extremo contrario, el 10% es superior a una hora. En cambio, en Vitoria-Gasteiz un 35% de los viajes tiene una duración inferior a 20 minutos, 10 menos que en Madrid, mientras que el tiempo total de viaje es mayor a media hora en tan solo el 15% de los mismos (Figura 7.9).

Figura 7.8. Distribución de los viajes según su duración (Madrid).

Figura 7.9. Distribución de los viajes según su duración (Vitoria-Gasteiz).

La Figura 7.10 muestra el tiempo medio que los encuestados dedican a las diferentes etapas del viaje en Madrid según el número de transferencias realizadas: acceso, caminando, de espera, en vehículo y dispersión. En general, el tiempo total de viaje aumenta a medida que el número de transferencias es mayor, mientras que el tiempo de acceso disminuye. El acceso al primer modo de TP y la dispersión se realiza a pie en el 95% y 99% de los casos, respectivamente, y en coche particular en el resto de casos.

En Vitoria-Gasteiz, el acceso al primer modo de TP y la dispersión se realiza a pie en todos los casos. El tiempo medio en vehículo disminuye ligeramente a medida que aumenta el número de transferencias (Figura 7.11). En cambio, los tiempos de

acceso y dispersión aumentan, lo cual puede indicar que la red de TP de Vitoria-Gasteiz no está optimizada para transbordar.

Figura 7.10. Duración media de las etapas del viaje por número de transbordos (Madrid).

Figura 7.11. Duración media de las etapas del viaje por número de transbordos (Vitoria-Gasteiz).

Es interesante reflexionar sobre las diferencias existentes entre el tiempo de viaje de puerta a puerta y la suma de los tiempos de las distintas etapas del viaje. A priori,

se presupone que el tiempo de viaje puerta a puerta es el que realmente emplea el encuestado en su viaje habitual, pues es el que más controla. Al indicar el tiempo que emplean, por ejemplo, caminando en un transbordo, revelan implícitamente la percepción que tienen de este tiempo.

En Madrid, la media del viaje puerta a puerta es de 39 minutos, mientras que la suma de tiempos revelados en las distintas etapas tiene una media de casi 49 minutos. Esto supone que los viajeros de Madrid penalizan el tiempo en un 25,6%. La Figura 7.12 muestra que el 90% de los encuestados penaliza el tiempo de viaje, de los que un 55,6% lo hace en más de 10 minutos. Por otra parte, tan solo el 20% de los usuarios que no realizan transbordos habitualmente penaliza el viaje en más de 10 minutos. El porcentaje de viajeros aumenta hasta el 60% cuando estos transbordan en dos ocasiones.

En Vitoria-Gasteiz se repite este comportamiento. La media del viaje puerta a puerta es de 24 minutos, mientras que la suma de tiempos revelados en las distintas etapas tiene una media de 30,5 minutos, lo que supone un incremento del 27,1%. El 85% de los participantes penaliza el tiempo de viaje y el 70% lo penaliza en más de 10 minutos (Figura 7.13). En general, los usuarios que transbordan habitualmente penalizan el viaje en mayor medida. El 25% de los usuarios que no realizan transbordos habitualmente penaliza el tiempo de viaje en 10 minutos, mientras que el porcentaje aumenta hasta el 50% en participantes que transfieren en una ocasión.

Figura 7.12. Diferencia entre la suma de tiempos de distintas etapas del viaje y tiempo total empleado de puerta a puerta (Madrid).

Figura 7.13. Diferencia entre la suma de tiempos de distintas etapas del viaje y tiempo total empleado de puerta a puerta (Vitoria-Gasteiz).

La penalización del tiempo de viaje depende en gran medida de la duración del viaje habitual. En este sentido, las siguientes figuras presentan el ratio entre la suma de tiempos de las distintas etapas del viaje y el tiempo empleado puerta a puerta según el número de transferencias.

En Madrid no se observan diferencias significativas entre los usuarios que transbordan una o dos veces, pero sí entre estos y los usuarios que no lo hacen (Figura 7.14). Los usuarios habituados a transbordar penalizan una media de 1,26 veces cada minuto de viaje, un 10% más que los usuarios que no transfieren, quienes penalizan cada minuto de viaje en 1,15 veces.

En Vitoria-Gasteiz, los usuarios que transbordan habitualmente penalizan el viaje en 1,77 veces, mientras que los que no transbordan lo hacen en 1,29 veces (Figura 7.15). Es decir, los usuarios que suelen transbordar penalizan el viaje un 37% más que los que no transfieren, lo cual difiere significativamente del caso de Madrid.

Figura 7.14. Ratio entre la suma de tiempos de distintas etapas del viaje y tiempo total empleado de puerta a puerta (Madrid).

Figura 7.15. Ratio entre la suma de tiempos de distintas etapas del viaje y tiempo total empleado de puerta a puerta (Vitoria-Gasteiz).

En cuanto a las actividades realizadas durante el viaje, se observa, por lo general, que aumentan si el tiempo medio en vehículo es mayor (Figura 7.16 y Figura 7.17). Este análisis se repitió considerando el número de transbordos, pero no se observaron diferencias significativas a las ya observadas. Es decir, las actividades realizadas durante el viaje también aumentan con el número de transbordos, relacionado directamente con el tiempo medio en vehículo.

En Madrid destaca que la mayoría de viajeros lee si el tiempo en vehículo es superior a 20 minutos, mientras que estudiar y dormir se realizan en mayor medida si el tiempo en vehículo es superior a una hora. En Vitoria-Gasteiz, la lectura es la tercera actividad que más se realiza en viajes cortos (tiempo en vehículo inferior a 40 minutos), mientras que en viajes largos dormir, escuchar música y utilizar el teléfono móvil tienen mayor importancia.

Figura 7.16. Actividades realizadas según el tiempo en vehículo (Madrid).

Figura 7.17. Actividades realizadas según el tiempo en vehículo (Vitoria-Gasteiz).

7.3 Análisis de Importancia-Satisfacción

En las encuestas definitivas se preguntó por la importancia y satisfacción de un conjunto de variables relacionadas con el TP y las transferencias. Los datos permiten concentrar esfuerzos en mejorar los factores que son importantes para el usuario y que le aportan poca satisfacción.

En Madrid, los encuestados dan mayor importancia a que las paradas y estaciones estén resguardadas del viento y la lluvia, a la disponibilidad de información en tiempo real y al transbordo dentro de un viaje (Tabla 7.1). En cuanto a la satisfacción, los participantes indican que están contentos con la disponibilidad de información en tiempo real y que podría mejorar la cobertura de telefonía móvil

Tabla 7.1. Importancia y satisfacción de variables del sistema de transporte (Madrid).

Característica/elemento	Importancia (sobre 100)	Satisfacción (sobre 100)	Producto (importancia por satisfacción)
Paradas y estaciones techadas	84,4	66,3	5.596,9
Disponibilidad de información en tiempo real	81,3	67,1	5.454,8
Transbordo	74,9	60,0	4.493,1
Existencia de cobertura de telefonía móvil	68,8	47,1	3.236,6
Disponibilidad de asientos en paradas y estaciones	60,8	54,3	3.298,1

En Vitoria-Gasteiz, los usuarios dieron una mayor importancia a que las paradas estuvieran resguardadas del viento y la lluvia, y la disponibilidad de información en tiempo real (Tabla 7.2), que resultaron ser las mismas que les proporcionan mayor satisfacción. El orden y la valoración media de importancia y satisfacción son similares a los registrados en Madrid.

Tabla 7.2. Importancia y satisfacción de variables del sistema de transporte (Vitoria-Gasteiz).

Característica/elemento	Importancia (sobre 100)	Satisfacción (sobre 100)	Producto (importancia por satisfacción)
Paradas y estaciones techadas	88,7	58,8	5.211,4
Disponibilidad de información en tiempo real	83,3	52,7	4.389,8
Transbordo	76,2	50,4	3.834,2
Disponibilidad de asientos en paradas y estaciones	52,6	52,6	2.768,3

A continuación, se presenta un análisis IPA (Importance-Performance Analysis), que permite detectar fortalezas, debilidades, variables no prioritarias y factores con una inversión excesiva de recursos.

En Madrid, el hecho de que las paradas y estaciones estén cubiertas, la disponibilidad de información en tiempo real y el transbordo se identifican como

fortalezas del sistema de TP (Figura 7.18). No obstante, el transbordo tiene margen de mejora. En cambio, aunque con una prioridad baja, debería invertirse en mejorar la cobertura de telefonía móvil, pues se encuentra cerca del área de debilidades, y la disponibilidad de asientos en paradas y estaciones.

Figura 7.18. Análisis IPA de variables del sistema de transporte (Madrid).

La Figura 7.19 muestra el análisis IPA en Vitoria-Gasteiz. Se identifican como fortalezas del sistema de TP el hecho de que las paradas estén cubiertas. La disponibilidad de información en tiempo real y el transbordo, en cambio, se identifican como debilidades, mientras que la disponibilidad de asientos es un factor que debe mejorar, aunque con una prioridad baja.

Figura 7.19. Análisis IPA de variables del sistema de transporte (Vitoria-Gasteiz).

7.4 Experimento de preferencias declaradas

En el experimento de PD de Madrid, el 68% de los participantes eligió rutas sin transbordo, mientras que el 32% restante prefirió rutas con una transferencia, en situaciones de elección entre cero y un transbordo. Estos valores contrastan con los resultantes de la encuesta piloto, que estaban descompensados (80% y 20%). Este hecho confirma la idoneidad de realizar una encuesta piloto y ajustar el valor de los parámetros de atributos para equilibrar la utilidad de las alternativas. En situaciones de elección entre rutas con uno y dos transbordos, el 69% prefirió hacer sólo uno mientras que el 31% restante eligió la opción con dos transferencias. Estos valores, en cambio, no difieren significativamente de los obtenidos en la encuesta piloto (64% y 36%). La Tabla 7.3 muestra las elecciones del experimento de PD desagregadas por género, edad, número de transbordos realizados y renta.

Tabla 7.3. Porcentajes de elección en la parte de PD (Madrid).

	Situaciones de elección entre 0 y 1 transbordo		Situaciones de elección entre 1 y 2 transbordos	
	Alternativa sin transbordo (%)	Alternativa con 1 transbordo (%)	Alternativa con 1 transbordo (%)	Alternativa con 2 transbordos (%)
Hombres	63,8	36,2	68,0	32,0
Mujeres	70,2	29,8	69,0	31,0
Edad: 15-24	74,5	25,5	60,7	39,3
Edad: 25-39	64,4	35,6	71,0	29,0
Edad: 40-54	69,7	30,3	66,5	33,5
Edad: 55-69	67,1	32,9	72,4	27,6
Renta mensual: inferior a 1.000€	54,2	45,8	66,7	33,3
Renta mensual: 1.000-2.000€	64,8	35,2	66,7	33,3
Renta mensual: 2.000-3.000€	71,1	28,9	67,6	32,4
Renta mensual: 3.000-5.000€	75,6	24,4	80,1	19,9
Renta mensual: superior a 5.000€	55,2	44,8	50,0	50,0
No realiza transbordos habitualmente	65,9	34,1	-	-
Realiza 1 transbordo habitualmente	68,0	32,0	70,8	29,2
Realiza 2 transbordos habitualmente	69,3	30,7	63,7	36,3
Realiza 3 transbordos habitualmente	76,5	23,5	56,7	43,3
Total	67,6	32,4	68,6	31,4

Los resultados muestran, en comparación con la media, que las mujeres y el grupo de menor edad (15-24 años) prefieren no transbordar, aunque en caso de hacerlo el número de transferencias les es indiferente. A medida que aumenta la renta mensual, los participantes prefieren la opción con menos transbordos. Sin embargo, esta tendencia no es válida para el grupo con una renta muy alta, que prefiere alternativas con mayor número de transbordos, si conllevan un ahorro de tiempo. Es decir, en el caso de rentas altas, el tiempo es la variable determinante. Los participantes que realizan más transbordos habitualmente prefieren alternativas

sin transferencia cuando eligen entre cero y un transbordo. No obstante, la experiencia de transferir también les influye cuando eligen entre alternativas con uno y dos transbordos, pues prefieren transbordar en más ocasiones para ahorrar tiempo.

En Vitoria-Gasteiz, el 30% de los participantes prefirió no transbordar, mientras que el 70% restante eligió rutas con transferencia. Estos valores muestran una descompensación entre alternativas mayor que en el caso piloto (46%-54%), aunque no debe interpretarse como un error de diseño, pues las situaciones de elección de la encuesta definitiva reflejan fielmente la realidad de la movilidad en TP de la ciudad. La Tabla 7.4 presenta las elecciones del experimento de PD desagregadas por género, edad, número de transbordos realizados y renta.

Tabla 7.4. Porcentajes de elección en la parte de PD (Vitoria-Gasteiz).

	Situaciones de elección entre 0 y 1 transbordo	
	Alternativa sin transbordo (%)	Alternativa con 1 transbordo (%)
Hombres	30,4	69,6
Mujeres	29,7	70,3
Edad: 15-24	30,3	69,7
Edad: 25-39	29,2	70,8
Edad: 40-54	30,3	69,7
Edad: 55-69	31,7	68,3
Renta mensual: inferior a 1.000€	25,5	74,5
Renta mensual: 1.000-2.000€	31,5	68,5
Renta mensual: 2.000-3.000€	30,5	69,5
Renta mensual: 3.000-5.000€	28,7	71,3
Renta mensual: superior a 5.000€	33,3	66,7
No realiza transbordos habitualmente	32,0	67,0
Realiza 1 transbordo habitualmente	23,3	76,7
Total	30,0	70,0

En los resultados apenas se aprecian diferencias significativas entre los grupos analizados, pues estos eligen las alternativas de las situaciones de elección en un porcentaje similar al total. Los únicos grupos que difieren del total son el que percibe una renta mensual inferior a 1.000€ y el que transborda habitualmente, que se inclinan por la alternativa con transferencia.

8 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS MODELOS LOGIT CON COMPONENTES DE ERROR PARA MEDIR LA UTILIDAD DE LOS TRANSBORDOS EN TRANSPORTE PÚBLICO

*“Bienaventurado el que, dejando aparte su gusto e inclinación, mira las cosas
en razón y justicia para hacerlas.”*

San Juan de la Cruz (Patrón de La Carolina)

Este capítulo detalla los resultados de los modelos Logit con Componentes de Error de Madrid y Vitoria-Gasteiz. En primer lugar, se aborda el proceso de calibración que cuantifica la percepción del transbordo. Posteriormente, se analizan los resultados en seis bloques de variables: (1) tiempos caminando, de espera y en vehículo; (2) modos, intermodalidad y escaleras; (3) hábitos; (4) aglomeración de personas, información en tiempo real y climatología; (5) realización de actividades durante el viaje; y (6) penalización pura por transferencia.

El contenido del capítulo dio lugar a una publicación científica del caso de estudio de Madrid:

García-Martínez, A., Cascajo, R., Jara-Díaz, S.R., Chowdhury, S. y Monzón, A., 2017. Transfer penalties in multimodal public transport networks. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Article in press. <https://doi.org/10.1016/j.trra.2018.01.016>.

Por otra parte, la comparación entre los dos casos de estudio se presentó en un congreso:

García-Martínez, A., Cascajo, R., Monzón, A. y Jara-Díaz, S.R., 2018. Users' perception of transfers: a comparison of two Spanish cities. XIII Congreso de Ingeniería del Transporte, 6-8 de junio, Gijón, España.

8.1 Calibración de los modelos Logit con Componentes de Error

El modelo ECL, que permite capturar y cuantificar el efecto de la desutilidad percibida por los componentes del transbordo, se basa en la teoría de la maximización de la utilidad aleatoria, tal y como se detalla en el Epígrafe 3.4. Este tipo de modelo puede tener dos enfoques diferenciados, en función de las necesidades de la investigación: (1) un enfoque predictivo o (2) explicativo. El primero utiliza métodos de pasos sucesivos para seleccionar las variables más significativas y que contribuyen en mayor medida a explicar la variable dependiente, permitiendo hacer predicciones. El segundo, estudia conjuntamente todas las combinaciones de variables y modelos con el fin de explicar el mayor número de relaciones de dependencia (Mac Nally, 2000). En esta investigación, los modelos ECL tienen un enfoque mixto. Su objetivo principal es cuantificar la desutilidad percibida al transbordar con un enfoque predictivo, incluyendo las variables más relevantes. No obstante, el modelo también incluye variables no significativas que han sido identificadas en otros estudios como relevantes, siguiendo un enfoque explicativo.

El paso más importante en la obtención de los resultados es la calibración de los modelos. Este proceso, que puede llevar meses y ser costoso, cuantifica la penalización asociada a cada componente del transbordo. El objetivo es mejorar el ajuste del modelo en cada iteración, obteniendo valores de los parámetros de las variables que representan el fenómeno real de forma más precisa. En primer lugar, se deben definir las variables independientes del modelo. En la investigación se incluyen las siguientes, que pueden ser de dos categorías y cinco tipos:

- Atributos procedentes de los datos obtenidos en las encuestas:
 - **Variables de escenario**, que varían entre las situaciones de elección del experimento de PD. En este tipo, se encuentran todas las variables incluidas en las funciones de utilidad. Algunas de ellas son comunes a ambos casos de estudio (modo, tiempo en vehículo, tiempo caminando, tiempo de espera e información en tiempo real), mientras que otras son específicas de Madrid (escaleras y aglomeración de personas) y Vitoria-Gasteiz (tiempo de acceso, tiempo de dispersión y climatología).
 - **Variables personales**, que hacen referencia al encuestado y que no varían entre situaciones de elección. Toda la información obtenida en la parte de PR de las encuestas se incluye en este grupo, como el género, la edad, el tiempo de viaje habitual, etc.
 - **Variables de entorno**, que no dependen del encuestado ni de las situaciones de elección, como la ciudad y las características de cada una: tamaño de población, reparto modal, etc.

- Nuevos atributos, obtenidos a partir de los anteriores:
 - **Nuevas variables**, que surgen según las necesidades del modelador en la calibración de los modelos. Por ejemplo, el atributo intermodalidad, que toma el valor 1 si el transbordo se realiza entre metro-autobús o autobús-metro, y 0 en cualquier otro caso. La intermodalidad se genera a partir del modo, que toma el valor 1 si hace referencia a metro y 0 a autobús.
 - **Interacciones entre variables**. Su objetivo es capturar efectos no lineales. Generalmente, las interacciones se realizan con variables socioeconómicas. Se determinan a partir de la revisión literaria y el análisis descriptivo de las encuestas. No obstante, su importancia es reducida en comparación con las variables anteriores. Según Louviere (1988), las interacciones suelen explicar alrededor de un 3% de la varianza de la variable dependiente de un modelo. Más del 80% de la varianza suele estar explicada por los atributos principales.

La base de datos de la investigación incluye un total de 165 y 109 categorías de variables en Madrid y Vitoria-Gasteiz, respectivamente, que parten como candidatas a formar parte de los modelos finales. La calibración de modelos se basa en maximización de la función de MV, detallada en el Epígrafe 3.4, y se estima con el software estadístico Limdep NLogit en su versión 4.0.

La calibración de los modelos ECL de ambos casos de estudio se puede consultar en el Anexo VI. En resumen, primero se calibra un modelo MNL como elemento de control, con las variables incluidas en las funciones de utilidad. Se recomienda seguir este procedimiento en la fase inicial de ajuste, pues la ejecución del modelo es más sencilla y rápida, teniendo en cuenta que este se ejecuta en numerosas ocasiones con pequeños cambios en las variables. Posteriormente, cuando el modelo MNL de control está ajustado, se indica al software que estime un modelo ECL con los mismos atributos. Este, previsiblemente, tendrá un mejor ajuste, pues considera la posibilidad de que las respuestas puedan estar correlacionadas. Este modelo ECL inicial es la base sobre la que añadir, modificar y descartar variables con el objetivo de optimizar la bondad de su ajuste. Se deben realizar tantas iteraciones como el modelador considere necesarias. El modelo final es aquel que, escogido entre todas las iteraciones realizadas, tiene un valor alto de la función de MV en comparación con el resto, controlando posibles problemas de multicolinealidad y carencias explicativas. La Tabla 8.1 muestra las variables incluidas en los modelos ECL calibrados.

Tabla 8.1. Variables incluidas en los modelos definitivos de Madrid y Vitoria-Gasteiz.

Tipo de variable	Variable	Descripción	Madrid	Vitoria-Gasteiz
Variables de escenario	Constante	Captura la penalización pura por transferencia	✓	✓
	Modo	Toma valor 1 si hace referencia a metro/tranvía y 0 a autobús	✓	
	Intermodalidad	Toma valor 1 si el transbordo se realiza entre metro-autobús o autobús metro, y 0 en cualquier otro caso	✓	
	Tiempo en vehículo	Tiempo transcurrido, en minutos, a bordo de un medio de transporte	✓	
	Tiempo caminando	Tiempo transcurrido, en minutos, desde el momento en que un viajero se baja de un vehículo y camina hasta llegar a la siguiente parada o estación	✓	
	Tiempo de espera	Tiempo transcurrido, en minutos, en una parada o estación esperando la llegada del siguiente vehículo	✓	
	Tiempo total de viaje	Suma de los tiempos de acceso, dispersión, en vehículo, caminando y de espera		✓
	Escaleras	Toma valor 1 si hay escaleras durante el transbordo, y 0 en caso contrario	✓	
	Información en tiempo real	Toma valor 1 si hay paneles con información dinámica del tiempo de espera hasta el siguiente vehículo, y 0 en caso contrario	✓	✓
	Aglomeración de personas	Toma valor 1 si existe aglomeración de usuarios al transbordar, incluyendo la caminata y espera, y 0 en caso contrario	✓	
	Climatología adversa	Toma valor 1 si llueve y 0 si está despejado		✓
	Hábitos de viaje	Diferencia de tiempo entre alternativas del experimento de PD y el viaje habitual	✓	
Variables personales	Número de transbordos realizados habitualmente	Número de transbordos que el encuestado realiza de forma habitual en sus viajes cotidianos	✓	✓
	Leer durante el viaje	Toma valor 1 si se lee habitualmente al viajar, y 0 en caso contrario	✓	
	Género	Toma valor 1 si es mujer, y 0 si es hombre	✓	✓
	Joven	Toma valor 1 si la edad está comprendida entre 15 y 24 años, y 0 en caso contrario	✓	

Las dos últimas variables (género y joven) se introducen en el modelo en interacción con otros atributos, con la finalidad de capturar efectos no lineales. Además, se calcularon nuevas variables que capturaran hábitos de viaje, como complemento a la información obtenida de la parte de PR de las encuestas: tiempo caminando, tiempo de espera, etc. La hipótesis formulada consistió en que un usuario de TP penaliza una alternativa con tiempos caminando, de espera, en vehículo y total mayores que los que dedica en su viaje cotidiano. Asimismo, percibe una utilidad en alternativas con tiempos inferiores a los habituales. Para medir este efecto, se crearon ocho variables que representan estas diferencias de tiempo entre las alternativas de la parte de PD y el viaje habitual revelado en la parte de PR, tal y como detallan las Ecuaciones 8.1 y 8.2:

$$habit_{ip} = (time SP_i - timeRP_i); \text{ si } timeSP_i > timeRP_i \quad (8.1)$$

$$habit_{in} = |(time SP_i - timeRP_i)|; \text{ si } timeSP_i < timeRP_i \quad (8.2)$$

Donde (*i*) puede representar el tiempo total de viaje, caminando, de espera o en vehículo; (*p*) si la diferencia entre el tiempo mostrado en las situaciones de elección

de la parte de PD y el tiempo revelado en la parte de PR es positiva; y (n) si es negativa.

El análisis descriptivo de las variables incluidas en los modelos ECL calibrados se puede consultar en el Anexo VI. Tras el proceso de calibración, se obtienen los modelos ECL finales de Madrid y Vitoria-Gasteiz. La Tabla 8.2 muestra los valores de los parámetros de los atributos relevantes en la percepción del transbordo, y su impacto en minutos equivalentes en vehículo (EIVM, *equivalent in-vehicle minutes*). Estos valores se obtienen a partir de la media de la desutilidad percibida por el tiempo en vehículo y total en cada caso de estudio, tal y como se justifica en el Epígrafe 8.2.1.

Tabla 8.2. Impacto de las variables relevantes al transbordar, y su equivalencia en EIVM.

Función de utilidad	Variables		Madrid		Vitoria-Gasteiz	
			Parámetro	EIVM (min)	Parámetro	EIVM (min)
U (T ₀): sin transbordo <i>Madrid - 1.557 obs.</i> <i>Vitoria - 1.611 obs.</i>	mode00	Modo	,2722*	2,965	-	-
	tveh00	Tiempo en vehículo	-,0918*	-1,000	-	-
	ttime0	Tiempo total de viaje	-	-	-,1527*	-1,000
	η _q	Error	1,8000*	-	,0081	-
U (T ₁): un transbordo <i>Madrid - 2.754 obs.</i> <i>Vitoria - 1.611 obs.</i>	constant1	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-5,4441*	-15,245	-1,6791**	-18,391
	ttime1	Tiempo total de viaje	-	-	-,0913*	-1,000
	interm11	Intermodalidad	-,7804*	-2,185	-	-
	tveh01	Tiempo en el primer vehículo	-,2866*	-,803	-	-
	tveh11	Tiempo en el último vehículo	-,4275*	-1,197	-	-
	twalk11	Tiempo caminando	-,2802*	-,785	-	-
	twalkg11	Interacción entre tiempo caminando y género	-,0748**	-,209	-	-
	twait11	Tiempo de espera	-,4076*	-1,141	-	-
	stair11	Escaleras	,2553	,715	-	-
	info1	Información en tiempo real	,1474	,413	,0675	,739
	infogen1	Interacción entre información en tiempo real y género	-	-	,4100**	4,491
	crowd1	Aglomeración de personas	-1,2993*	-3,638	-	-
	crwdyng1	Interacción entre aglomeración de personas y jóvenes	-,8625*	-2,415	-	-
	weather1	Climatología adversa	-	-	1,3614*	14,911
	numtr1	Número de transbordos realizados habitualmente	,1154	,323	,6722*	7,363
	read1	Leer durante el viaje	-,0014	-,004	-	-
	habittot1p	Diferencia entre el tiempo total mostrado en las situaciones de elección de la parte de PD y el tiempo total revelado (cuando es positiva)	-,000040*	-,00001	-	-
	habitwai1n	Diferencia entre el tiempo total de espera mostrado en las situaciones de elección de la parte de PD y el tiempo total de espera revelado (cuando es negativa)	,000018	,00005	-	-
	η _q	Error	,0206	-	1,6007*	-
	constant2	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-6,6619*	-17,661	-	-
U (T ₂): dos transbordos <i>Madrid - 1.197 obs.</i>	interm12	Intermodalidad en el primer transbordo	-,8712*	-2,310	-	-
	interm22	Intermodalidad en el segundo transbordo	-1,2413*	-3,291	-	-
	tveh02	Tiempo en el primer vehículo	-,3818*	-1,012	-	-
	tveh12	Tiempo en el segundo vehículo	-,4329*	-1,148	-	-
	tveh22	Tiempo en el último vehículo	-,3169*	-,840	-	-
	twalk12	Tiempo caminando en el primer transbordo	-,3384*	-,897	-	-
	twalk22	Tiempo caminando en el segundo transbordo	-,6013*	-1,594	-	-
	twait12	Tiempo de espera en el primer transbordo	-,4660*	-1,235	-	-
	twait22	Tiempo de espera en el segundo transbordo	-,5521*	-1,464	-	-
	stair12	Escaleras en el primer transbordo	-,5490	-1,455	-	-
	stair22	Escaleras en el segundo transbordo	-,5027	-1,333	-	-
	info2	Información en tiempo real	,6577*	1,744	-	-
	crowd2	Aglomeración de personas	-1,3209*	-3,502	-	-
	numtr2	Número de transbordos realizados habitualmente	,7959*	2,110	-	-
	read2	Leer durante el viaje	-,5602*	-1,485	-	-
	habittot2p	Diferencia entre el tiempo total mostrado en las situaciones de elección de la parte de PD y el tiempo total revelado (cuando es positiva)	-,000102*	-,00027	-	-
	habitwai2n	Diferencia entre el tiempo total de espera mostrado en las situaciones de elección de la parte de PD y el tiempo total de espera revelado (cuando es negativa)	,000068*	,00018	-	-
	η _q	Error	1,3650*	-	-	-

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

Los siguientes epígrafes se dedican al análisis de los resultados de los modelos ECL, y son la base de la recomendación de políticas de transporte que minimizan la desutilidad percibida, aumentando la competitividad del TP.

8.2 Análisis de resultados

8.2.1 Tiempos caminando, de espera y en vehículo

En Madrid, todas las variables de tiempo: caminando, de espera y en vehículo, son estadísticamente significativas (p -valor $< 0,05$), contribuyendo a la desutilidad de la transferencia. El tiempo caminando en el primer transbordo se percibe ligeramente peor en $U(T_2)$ que en $U(T_1)$, aunque el que aporta una desutilidad mayor es el tiempo caminando en el segundo transbordo en $U(T_2)$. Cuando se realizan dos transbordos, el impacto del tiempo caminando es casi el doble si se compara con la alternativa de una transferencia. Este resultado manifiesta la necesidad de minimizar los tiempos caminando en los transbordos cercanos al destino del viaje. Por otra parte, el tiempo caminando depende del género en $U(T_1)$, aportando una desutilidad adicional a las mujeres, quienes lo penalizan 1,27 veces más que los hombres. Este resultado es coherente con el estudio de Wardman et al. (2001), quienes concluyeron que las mujeres perciben el tiempo caminando un 23% peor que los hombres, y con el estudio de Navarrete y Ortúzar (2013), quienes cuantificaron que las mujeres penalizan el tiempo caminando 4,05 veces más que los hombres. El tiempo de espera también se percibe peor en $U(T_2)$ que en $U(T_1)$. En concreto, el tiempo de espera en el segundo transbordo se percibe un 20% peor que en el primero. El tiempo en vehículo sigue la misma tendencia. Sin embargo, el tiempo en el último vehículo en $U(T_2)$ aporta una desutilidad menor que el resto, indicando que los usuarios que están más cerca de su destino penalizan en menor medida los tiempos en vehículo. En Madrid se establecen los valores promedio de desutilidad percibida en vehículo como 0,3571 y 0,3772 al realizar una y dos transferencias, respectivamente. Los parámetros de atributos se dividen entre estos valores para compararlos entre sí según una medida estándar: el tiempo equivalente en vehículo (EIVM)³. Aparte de la interacción del tiempo caminando con el género en $U(T_1)$, no se encontraron

³ La conversión de los parámetros de atributos a EIVM se puede realizar de tres formas, según el valor de desutilidad en vehículo que perciba un usuario de TP:

- Dividiendo el parámetro de cada atributo entre el valor de desutilidad percibida en el primer vehículo de la misma alternativa. El viajero podría percibir como desutilidad la del primer vehículo que abandona, asumiendo que en él pudiera llegar a su destino.
- Dividiendo el parámetro de cada atributo entre el promedio de desutilidad percibida en vehículo de la alternativa que un viajero utiliza habitualmente.
- Dividiendo el parámetro de cada atributo entre el promedio de desutilidad percibida en vehículo de la misma alternativa. Este es el procedimiento que se utiliza comúnmente en la literatura, y el que se ha utilizado en la tesis doctoral, al considerarse que es el que mejor representa las percepciones de los usuarios de TP.

relaciones entre los tiempos caminando, de espera y en vehículo con otras variables: edad, número de transbordos realizados habitualmente, viajar con niños, etc.

En Vitoria-Gasteiz, los tiempos caminando, de espera y en vehículo no son significativos, por lo que se excluyeron del modelo final. Sin embargo, el tiempo de viaje total sí es relevante. Esto puede deberse a que las distancias a pie son razonables, pues el 54% de los desplazamientos se realizan caminando (CEA, 2015) y, por tanto, los usuarios de TP prefieren caminar en la última etapa del viaje y no esperar al siguiente vehículo, si así consiguen un ahorro de tiempo. Otra razón que puede explicar este resultado es que los usuarios no han internalizado el transbordo en sus viajes –un 73% no transborda habitualmente, lo cual les impide valorar la transferencia adecuadamente. En Vitoria-Gasteiz se establece el valor promedio de 0,0913 como desutilidad percibida por minuto de viaje, lo que permite comparar parámetros de atributos entre sí según tiempo equivalente de viaje total. El efecto del tiempo en vehículo, al no ser significativo, es equivalente al del tiempo de viaje total, por lo que si se dividen los parámetros de atributos entre 0,0913 se obtiene el impacto de las variables en EIVM. El tiempo total de viaje se percibe ligeramente mejor en alternativas con transbordo, debido a que el tiempo total de estas en el experimento de PD es siempre inferior al de las alternativas sin transferencias, debido al criterio de equilibrio de utilidad. En Madrid, en cambio, el tiempo en vehículo, relacionado con el tiempo total de viaje, se percibe de forma aún más negativa en alternativas con transbordos.

El tiempo más penalizado varía según la alternativa. El tiempo de espera es el que provoca la máxima desutilidad cuando se realiza una transferencia; le siguen el tiempo en vehículo y el tiempo caminando. Este resultado coincide con las conclusiones de la revisión literaria. Navarrete y Ortúzar (2013) indicaron que el tiempo de espera es el tiempo más penalizado, seguido de los tiempos de acceso y dispersión. Iseki y Taylor (2009) y Walle y Steenberghen (2006) concluyeron que los tiempos de espera aportan una desutilidad mayor que los tiempos caminando. Por otra parte, los tiempos en vehículo se penalizan en menor medida que los tiempos fuera del mismo Iseki y Taylor (2009). Los usuarios de TP muestran una mayor preferencia por escenarios con menor diferencia en el rango de tiempos fuera del vehículo Ceder et al. (2013b). En alternativas con dos transbordos, el tiempo caminando en el segundo transbordo es el que causa mayor desutilidad, seguido por el tiempo de viaje en el segundo vehículo y el tiempo de espera. Este resultado difiere del obtenido en las alternativas con un transbordo, aportando nuevos datos a la literatura. Es decir, la penalización asociada al tiempo caminando es crítica en viajes con dos transferencias.

8.2.2 Modos, intermodalidad y escaleras

A pesar de que las funciones de utilidad incluyen la variable modo, esta no fue significativa en ambos casos de estudio, por lo que en la calibración de los modelos se sustituyó por la variable intermodalidad (ver Anexo VI).

En Madrid, los usuarios de TP perciben negativamente un transbordo entre diferentes modos de transporte, con un impacto comparable a 2,2 EIVM. Este hecho no está causado por la existencia de escaleras, pues la variable no es significativa. El efecto de la intermodalidad podría deberse a que los usuarios no perciben el sistema de transporte como una red integrada. En alternativas con dos transferencias, el impacto es aún mayor, comparable a 3,3 EIVM. La irrelevancia del atributo escaleras en el modelo se puede interpretar de dos formas. Por un lado, el usuario de TP puede haber asumido que las escaleras son inevitables y haberse acostumbrado a ellas. Este razonamiento no incluye escenarios atípicos como, por ejemplo, la profundidad en la estación de Cuatro Caminos, con cuatro tramos de escalera, que fue mencionado en los grupos focales. Por otro lado, podría deberse a que la variable no se ha incluido correctamente en el experimento de PD. Se puede aumentar el número de niveles de atributo de dos a tres para representar la variable *tramos de escalera*, en lugar de *existencia de escaleras*. Este hecho se valoró en el diseño de la parte de PD, pero el número de situaciones de elección generado por Ngene habría sido mayor, aumentando la complejidad de la encuesta. En su lugar, se optó por una variable binaria, pues tampoco se conocía si los tramos de escalera serían significativos posteriormente. En los viajes sin transbordo, destaca que viajar en metro ofrece una utilidad mayor al usuario que el autobús. Este resultado coincide con el del estudio de Currie (2005), quien concluyó que las penalizaciones asociadas al transbordo son mayores cuando se viaja en autobús.

En Vitoria-Gasteiz no se encontraron diferencias significativas entre viajar en autobús o tranvía, ni entre transferir entre distintos modos de transporte. Como se ha indicado con anterioridad, podría deberse a que los transbordos se realizan al mismo nivel y que las distancias entre paradas de modos distintos son más cortas.

8.2.3 Hábitos

En Madrid, el coeficiente de la variable *número de transbordos realizados habitualmente* en $U(T_1)$ no es significativo, lo cual indica que los usuarios habituales de TP en Madrid asumen el hecho de transbordar en una ocasión. Sin embargo, esta variable sí tiene un efecto positivo en la desutilidad percibida cuando se realizan dos transferencias. Los usuarios que transbordan habitualmente en dos ocasiones perciben una utilidad de 4,2 EIVM. Este hábito compensa la desutilidad percibida, por ejemplo, en transbordos entre modos diferentes. Por otra parte, los viajeros se encuentran influenciados por sus hábitos de viaje, penalizando alternativas con

mayores tiempos de viaje y espera que los que están acostumbrados a dedicar en sus viajes habituales. El valor de los parámetros es significativo, pero despreciable, casi igual a cero. Esto sugiere que los hábitos no son variables importantes en la percepción del transbordo, pero sí se consideran inconscientemente.

El *número de transbordos realizados habitualmente* también es significativo en los viajes de un transbordo en Vitoria-Gasteiz, lo que indica que los usuarios no están habituados a transferir. Su impacto es comparable a 7,4 EIVM. El tiempo medio de viaje en Vitoria-Gasteiz es de 24 minutos, lo cual indica que un usuario no habituado a transbordar percibe una desutilidad adicional que representa el 30,8% del tiempo total de viaje. Es decir, la familiaridad con el transbordo es esencial en Vitoria-Gasteiz.

8.2.4 Aglomeración de personas, información en tiempo real y climatología

La aglomeración de personas se identificó como relevante únicamente en los grupos focales de Madrid. El efecto medio de este atributo, igual a 3,6 EIVM, es el segundo más importante del modelo, después de las constantes. La desutilidad producida por esta variable es ligeramente superior cuando en alternativas con dos transferencias. En $U(T_1)$ existe una interacción con el grupo de jóvenes, quienes perciben una desutilidad adicional de 2,4 EIVM. En $U(T_2)$, sin embargo, esta interacción no es significativa. En esta línea, varios estudios han identificado la aglomeración de personas como una variable relevante en intercambiadores, paradas y andenes (Raveau et al., 2014; Wardman y Hine, 2000). El valor del coeficiente de información en tiempo real en paradas de autobús y estaciones de metro refuerza la hipótesis de que los usuarios habituales en Madrid asumen el hecho de transbordar en al menos una ocasión. Esta variable no es significativa en $U(T_1)$, pero sí en $U(T_2)$, con un impacto positivo de 1,7 EIVM. Este resultado indica que la información en tiempo real es más relevante cuando el número de transbordos de un viaje es mayor.

En Vitoria-Gasteiz, las mujeres son las únicas que perciben utilidad cuando existe información en tiempo real, comparable a una reducción de 4,5 EIVM. Por otra parte, los participantes de los grupos focales identificaron como relevante la variable climatología. Bajo condiciones adversas, los viajeros de TP prefieren alternativas con transbordo a caminar en la última etapa del viaje, protegiéndose de la lluvia. Por tanto, esta variable proporciona utilidad al usuario, con un efecto similar al de una reducción de 14,9 EIVM. Este valor es similar al tiempo de dispersión de la alternativa sin transbordo en el experimento de PD, situado entre 12 y 16 minutos. El resultado obtenido coincide con las intervenciones de los participantes de los grupos focales, quienes afirmaron transbordar con mayor frecuencia en caso de llover.

8.2.5 Realización de actividades durante el viaje

El atributo interrupción de la actividad únicamente se identificó en los grupos focales de Madrid. El análisis descriptivo de la parte de PR de la encuesta reveló que el 70% de los viajeros lee al viajar, seguido de un 53% que utiliza el teléfono móvil y un 20% que escucha música. No obstante, la única variable significativa en el modelo es leer en $U(T_2)$. El porcentaje de usuarios que lee mientras viaja es mayor a medida que el número de transbordos aumenta. En concreto, el 75% de los usuarios leen en viajes con dos transbordos, mientras que el porcentaje desciende a 70,6% y 67,2% en viajes con y sin transbordo, respectivamente. Respecto al tiempo en vehículo, el porcentaje de viajeros que leen al viajar se sitúa en el 20% en el intervalo 0-20 minutos, aumenta hasta el 67% en el intervalo 21-40 minutos, y desciende progresivamente hasta el 61% cuando el tiempo es superior a una hora. Estos resultados sugieren que, en viajes con dos transbordos, con un tiempo medio en vehículo mayor, el porcentaje de usuarios afectados por la interrupción de la actividad es también mayor y, por tanto, la molestia únicamente aparece como significativa en $U(T_2)$.

8.2.6 Penalización pura por transferencia

Las constantes definidas en $U(T_1)$ y $U(T_2)$ permiten capturar la penalización pura por transferencia, aislada del resto de componentes del transbordo. Es decir, las constantes muestran el valor de la desutilidad generada por la mera interrupción del viaje. Estas también pueden captar el efecto, positivo o negativo, de otras variables no que no se incluyen en el modelo, al ser desconocidas. No obstante, estas variables desconocidas se encontrarían presentes en todas las alternativas, por lo que la diferencia de constantes se podría interpretar como la percepción relativa de la penalización pura por transferencia.

En Madrid, la desutilidad de la penalización pura equivale a 15,2 y 17,7 EIVM en viajes con uno y dos transbordos, respectivamente. En Vitoria-Gasteiz, el efecto es similar a un incremento de 18,4 EIVM. La diferencia entre las constantes de Vitoria-Gasteiz y Madrid en viajes de un transbordo equivale a 3,15 EIVM. Con el fin de analizar si esta diferencia es significativa, se estudiaron los valores promedio de las constantes de ambos casos de estudio con sus respectivas varianzas a través de un test de contraste de hipótesis. El resultado fue significativo, confirmando que en Vitoria-Gasteiz la penalización pura por transferencia se percibe de forma más negativa que en Madrid, lo cual puede explicarse por los hábitos de viaje. En Vitoria-Gasteiz los usuarios de TP no tienen experiencia de transferir, percibiendo una mayor penalización pura.

Según Cheng (2010), la aglomeración de personas es un elemento de la penalización pura por transferencia. Sin embargo, la aglomeración se incluye en el modelo final

de Madrid, por lo que, siguiendo el enfoque de Cheng, habría que sumar su impacto al de la penalización pura, siendo entonces esta última aún mayor. Cabe destacar que en el modelo se incluyeron categorías de variables *dummy* de tipo socioeconómico como género, edad, nivel de educación e ingresos, siendo no significativas. Por tanto, la constante representa el efecto neto de la penalización pura por transferencia, sin influencia de características socioeconómicas, lo que indica que la percepción de la penalización pura no se distribuye entre la población.

Frei et al. (2017) evaluaron la demanda de un servicio de TP flexible a través de encuesta de PD en la que el número de transbordos variaba entre situaciones de elección. Los resultados muestran que el coste asociado a transferir equivale a 4,9 y 10,9 EIVM en rutas con una y dos transferencias, respectivamente. No obstante, estos valores no se pueden comparar con los de esta investigación, por dos razones: (1) a diferencia del modelo de la Tabla 8.2, el suyo no incluye variables como la aglomeración de personas, información en tiempo real o actividades realizadas durante el viaje, y (2) las transferencias se definen únicamente con un número, sin incluir actividades que consumen tiempo, como caminar y esperar mientras se transborda. Probablemente, estas razones justifican por qué sus resultados muestran que la desutilidad de la segunda transferencia es más del doble que la primera. En la presente investigación, en cambio, se obtiene un incremento de tan solo el 22%, aunque se registra un aumento relevante en la percepción del tiempo caminando durante el segundo transbordo.

Por tanto, se pone de manifiesto la necesidad de identificar cuáles son los elementos que forman parte de la penalización pura, y cuantificar sus impactos con el objetivo de mitigarlos. Esta investigación aborda por primera vez este atributo de forma independiente, pero aún es necesario profundizar más sobre este concepto y su relación con otras variables del viaje y la transferencia.

***PART IV:* CONCLUSIONS, RECOMMENDATIONS
AND FUTURE RESEARCH**

9 CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH

"Tell me, and I will forget. Show me, and I may remember. Involve me, and I will understand."

Confucius

Chapter 9 presents the main conclusions of the PhD research work. First, it includes critical assessment of the accomplishment of the objectives presented in Chapter 2. This is followed by the main conclusions both in terms of research methodology and for policy recommendations to improve their practical implementation. The chapter finishes with a discussion on the limitations and future research identifying future investigation lines.

9.1 Objectives compliance review

As previously explained in Chapter 2, this doctoral thesis had five objectives:

1- Which variables do public transport users perceive when making transfers?

The literature review provides a first idea of which are the variables which influence the perception of transfers by public transport users. Table 2.1 shows a list of 46 variables grouped into 6 groups: (1) personal characteristics; (2) trip characteristics; (3) time; (4) built environment; (5) transfer characteristics; and (6) pure penalty.

However, the significance of attributes depends on the case study (Iseki and Taylor, 2009). Therefore, it was necessary to conduct a series of three focus groups in Madrid and two in Vitoria-Gasteiz to customize the research process. Focus groups allowed to confirm the relevance of some variables, to reject others and to discover new ones (mental effort and activity disruption in Madrid) that were not included in the existing literature. The attributes identified were included in utility functions, namely:

- Pure transfer penalty (captured by constants)
- Mode
- In-vehicle time
- Walking time
- Waiting time
- Real-time information
- Stairs *(in Madrid)*
- Crowding *(in Madrid)*
- Access time *(in Vitoria-Gasteiz)*
- Egress time *(in Vitoria-Gasteiz)*
- Weather *(in Vitoria Gasteiz)*

Utility functions were the basis to design a stated preference experiment. A pilot and a definitive survey were carried out in each case study, obtaining the data base to calibrate ECL models, which allowed to quantify the impact of all components of a transfer. Other variables were also identified during the calibration of the ECL models:

- Number of transfers usually made
- Intermodality *(in Madrid)*
- Interaction between gender and walking time *(in Madrid)*
- Reading while traveling *(in Madrid)*
- Habits *(in Madrid)*
- Total trip time *(in Vitoria-Gasteiz)*

- Interaction between real-time information and gender (in Vitoria-Gasteiz)

2- How do public transport users perceive each component of a transfer when making transfers in unimodal or multimodal urban trips?

Chapter 8 provides the results of the ECL models for each case study. They allow to quantify the pure transfer penalty in each city. The results are showed in Table 8.1 that summarises the parameters of each component, their significance and values in equivalent in-vehicle minutes and equivalent trip minutes in Madrid and Vitoria-Gasteiz.

The most penalised attributes apart from components of travel times were the pure transfer penalty, crowding and intermodality in Madrid, and the pure transfer penalty, weather and the transfer experience in Vitoria-Gasteiz. Regarding attributes related to time, waiting and walking times are perceived as more onerous in Madrid when making one and two transfers. These attributes, along with in-vehicle time, were not significant in Vitoria-Gasteiz, as public transport users prioritise the total trip time without regard to the impact of the trip stages.

3- How does the pure transfer penalty influence users' choice of different alternatives involving transfers?

Constants capture all the unobserved variables which are not included in the model, as they are unknown to us. If these variables are present in each alternative they will not influence the difference between constants, and thus they could be interpreted as the relative perception of the pure transfer penalty. The impact of this penalty in Madrid is perceived as 15.2 and 17.7 equivalent in-vehicle minutes when making one and two transfers respectively. The difference in the pure transfer penalty between the no-transfer and one-transfer option is much greater than the difference between transferring once and twice, suggesting that it will be progressively reduced as the number of transfers increases.

In Vitoria-Gasteiz the impact is similar to that of an increase of 18.4 equivalent in-vehicle minutes. The difference of 3.15 minutes between the values of the pure transfer penalty of Vitoria-Gasteiz and Madrid was significant, which could be related to habits, as public transport users in Vitoria-Gasteiz do not have much transferring experience. The pure transfer penalty is therefore more important in small cities.

4- Are there significant differences in the perception of transfer penalties when making one and two transfers?

Results from the case study of Madrid of trips involving one transfer can be compared to those of other studies. Waiting times cause more disutility than walking and in-vehicle times, which is similar to the findings of the literature review

(Ceder et al., 2013b; Iseki and Taylor, 2009; Navarrete and Ortúzar, 2013; Walle and Steenberghen, 2006). In this research, results show that the perception of waiting times implies an increase of 14.2% and 45.5% if compared to in-vehicle and walking times.

However, differences arise when commuters make two transfers. Walking time in the second transfer is perceived as more onerous, becoming a crucial variable. On average, walking time is the attribute which experiences the greatest increase if compared with one-transfer trips, 67.7%. Waiting times are also more poorly perceived, with an increase of 24.9%. In contrast the impact of in-vehicle times barely changes. In addition, the intermodality and pure transfer penalty are more poorly perceived in alternatives with two transfers than in alternatives with only one. This highlights the importance of this research, which is the first in studying trips involving two transfers.

5- How does the size of a city influence on the transfer disutility perceived by public transport users?

The case studies represent an XL city (Madrid) and an M city (Vitoria-Gasteiz), which differ in size and mobility characteristics, allowing therefore to compare the results of the ECL models and identify similitudes and differences.

In Vitoria-Gasteiz it is noticeable that walking, waiting and in-vehicle times are not significant. However commuters do give importance to the total trip time. That is, public transport users do not mind to transfer and face large walking and waiting times if they can save time.

Total trip time is more negatively perceived in Madrid, which is linked to the complexity and the size of its transport network, and also to its higher average trip time: 29 min against 24 min in Vitoria-Gasteiz. In Madrid commuters need to change station levels when making a transfer between bus and metro or vice versa. This also affects to walking time, which only depends on gender in Madrid. Transfers which involve changing the mode of transport also cause a disutility due to differences in level.

The weather is relevant in Vitoria-Gasteiz which has cold winters and autumns and more rainy days if compared to Madrid. On the other hand, crowding is an important factor that impacts transfer perception in cities with a high density of travellers as Madrid.

The familiarity with the transport network makes transfers less burdensome; this is even more important in cities with less transfer experience, where most trips could be performed without transferring. The results of the surveys showed that public transport users in Madrid are used to transfer, as a 77% of travellers transfers in

their commuting trips. In Vitoria-Gasteiz they have not internalised the transfer, as only a 27% transfers.

There are also differences about the perception of time. Commuters who are familiar with transfers penalise each travel minute 37% and 10% times more than those not used to transfer in Vitoria-Gasteiz and Madrid, respectively.

9.2 Conclusions and methodological achievements

The first group of relevant results are methodological. Some methodological innovations have allowed to achieve clear and disruptive results. Those achievements could be summarised as follows:

a) Focus groups

This technique allowed to confirm the importance of variables identified as relevant in the literature review in each case study. In addition focus groups allowed to find out new attributes that influence transfer perceptions: mental effort and activity disruption. This practice is not common, as many studies except for Navarrete (2010) and Navarrete and Ortúzar (2013) use quantitative methods, in which factors are defined based on the literature and the opinion of researchers. In this thesis, the experience demonstrates the importance of combining both focus groups and literature review.

From focus groups it could be concluded that there is a need to reduce the transfer penalty caused by users' mental effort in response to the disruption of activities. This penalty can be reduced to the minimum by designing real transfer areas with continuity between transport modes to make the transfer experience totally seamless, in addition to continuity in information and communication to improve user intention to use routes with transfers.

b) Survey method

The method used to engage respondents during the data campaigns showed to be a solid alternative to obtain high quality information at a relatively low cost. The methodology combined the advantages of personal intercept interviews and online questionnaires, consisting on two main steps: (1) interviewing members of specific target groups onsite, briefly explaining the purpose of the project and inviting them to participate in the survey; and (2) respondents complete a web questionnaire afterwards motivated by a prize draw. Response rates showed potential to apply this methodology in transport surveys in the future.

The survey combined both revealed and stated preferences methods. The first allowed to obtain information about socioeconomic variables and attributes

related to daily commuting trips. The second allowed to create hypothetical scenarios to capture the perceived disutility while transferring. The design of a stated preference experiment requires attributes' parameters adapted to each case study. This step needs a pilot stage which comprises a pilot survey. In both pilot and definitive surveys the utility of alternatives within the stated preference experiment should be balanced, which is crucial to obtain meaningful results.

c) Modelling transfer perceptions

Only the Error Component Logit model has resulted valid to estimate transfer perceptions. The Multinomial Logit model has been used until recently, but it assumes the independence of irrelevant alternatives and that all observations are independent. This is contrary to the principle of a stated preference experiment, in which participants face a set of different choice situations, implying that observations are dependent.

d) Familiarity on using PT networks makes differences on transfer perceptions

Although both cities have designed an integrated approach of their transport network, users in Madrid do not perceive it as such. Finally, habits play an important role while transferring. The most important factor is the number of transfers usually made by public transport users. Its impact can be compared to that a reduction of 2.1 and 7.4 minutes in equivalent in-vehicle minutes in Madrid and Vitoria-Gasteiz, respectively. This attribute should be imperatively considered if restructuring the transport network with an increase of the average number of transfers.

e) The impact of the pure transfer penalty has an overriding importance

By controlling for the variables included in the model it is possible to isolate the effect of a transfer as a pure interruption of the trip: a pure transfer penalty, which influences users' decisions. This phenomenon was mainly captured by appropriate constants in the utility functions. The magnitude of the pure transfer penalty impact in Madrid is similar to a 15.2-17.7 increase in equivalent in-vehicle minutes, and is 22% higher in the case of two transfers. In Vitoria-Gasteiz, the impact is equivalent to 18.4 in-vehicle minutes. This finding suggests that a traveller would prefer a somewhat longer non-transfer alternative to a single transfer, even in an ideal transfer in which walking and waiting times are equal to zero. This could be explained by the transfer habits and the transport network design. As stated in the preliminary steps (focus groups) of this study, variables such as mental effort and activity disruption are components of the pure transfer penalty. Other variables may help explaining this perception, such as anxiety, crowding (one of the attributes in

the model), fear of unexpected delays, accessibility to stops or stations, incomplete information, uncertainty, safety and security (Cheng, 2010). In addition, controlling for walking, waiting and other variables proved to be important, as walking perception in the second transfer increases notably.

9.3 Policy recommendations

Those findings are potentially very useful for analysing trends and providing policy recommendations, and contribute to an understanding of users' perception of transfers in multimodal urban networks. Based on the results of this research some policy measures have been selected as worth of studying and evaluating.

Traditional trip variables –walking, waiting and in-vehicle times– are difficult to change, but the perceived disutility of transferring could be reduced by acting on the quality of the transfer points. Hernandez (2015) identified the factors that make the use of the interchange more comfortable and reduce the user's stress feeling. Main findings showed that seating capacity, availability of cash machines and information and assistance provided by staff have room for improvement. In addition, information provision would lead to a reduction in the perceived walking time. Hernandez concluded that an efficient transport interchange should be considered as a '*node*', but also as a '*place*'. The present doctoral thesis also identifies that a pleasant environment (roof, seating, plants), optimised guidance of passenger flows, good information such as signs, panels and audio messages (particularly when the transfer involves intermodality) and communication facilities (i.e. Wi-Fi, good mobile coverage) would be a step in this direction. Information systems could help to perceive the transport system as integrated by improving directional signs, electronic signage and audio messages. It appears to be also helpful to offer real-time information in panels at bus stops or stations' halls indicating the remaining time for the next vehicle arrival to reduce uncertainty. Acting on the design of the system by increasing the frequency and/or capacity of vehicles would diminish both crowding and waiting times. Again, a trade-off emerges between users' and operators' costs. In small cities such as Vitoria-Gasteiz, with shorter distances and trip times on foot, transport policies should seek to improve the frequency and reliability of the public transport service.

Table 9.1 summarises some good practices identified along this document and based on the modelling results. This policy measures could improve how passengers perceive transfers. It should be noted that some of the proposed measures are inter-related.

Table 9.1. Good practices identified to improve the perception of transfers.

Attribute	Good practices	Recommendations	Impacts
Walking, waiting and in-vehicle times	<ul style="list-style-type: none"> Reduce walking times and distances in design phases Improve the quality of transfer points Approximate transfer points to trip attraction zones 	Install moving walkways	Decrease in walking times and distances
		Improve accessibility with elevators and escalators	
		Dynamic change of escalators' direction	
		Increase the number of seats in stops and stations	Improvement in the perception of waiting times
		Increase the number of shops and businesses in the metro system	
		Provide detailed and realistic information	
		Increase the frequency of public transport services	
		Provide a pleasant environment	
Crowding	<ul style="list-style-type: none"> Optimise passenger flows 	Dynamic change of turnstiles' direction	Decrease in the perception of crowded stations
Information	<ul style="list-style-type: none"> Provide more static and dynamic information 	Development of a simple and practical official mobile application	Improvement in the perception of waiting times
		Signalise the nearest door of trains to the destination platform	Decrease in walking times and distances
		Provide dynamic information about other modes of transport in stops and stations	Decrease in the perception of transfers between different modes
Activities	<ul style="list-style-type: none"> Encourage and facilitate the realization of activities while traveling Raise awareness about the possibility of taking advantage of time when traveling in public transport 	Provide mobile phone coverage in the whole transport network	Improvement in the perception of waiting and in-vehicle times
		Provide free Wi-Fi	
		Provide chargers for electronic devices in stops, stations and vehicles	
		Campaigns raising awareness about the utility of time in public transport	
		Provide news and updated weather information on screens in stops, stations and vehicles	
Public transport system	<ul style="list-style-type: none"> Develop the public transport system as an integrated network 	Signage and information on correspondence services of the whole network in stops and stations	Decrease in the perception of transfers between different modes
		Indicate bus stops location nearby metro exits	
Pure transfer penalty	<ul style="list-style-type: none"> Raise awareness about the advantages of transferring Reduce mental effort 	Information campaigns on healthy habits (i.e. " <i>A daily walk of 40 minutes covers the physical activity necessary to maintain a healthy state</i> ")	Decrease in the perception on walking time
		Improvement on signalisation	Decrease the mental effort while transferring
		Accurate real-time information on services	

These policy measures are in line with those defined in the research by Hernandez (2015). In addition, the latest identifies the development of a Plan for Transport Interchanges as a good practice, intended as a joint planning strategy for land uses and urban transport. Hernandez also highlights the importance of involving users in the planning process and permanently monitoring performance and feedback from users.

Findings of this thesis evidence that users' attitudes towards transferring in public transport vary depending of the city. Characteristics such as size, mobility patterns and the layout of the public transport network should not be overlooked when seeking to improve user perception of transfers in multimodal urban trips.

The results for the pure transfer penalty underline the paramount importance of properly valuing transfers when designing public transport line structures, as shown by Fielbaum et al. (2016). **This study is the first step in the quantification of the pure transfer penalty**, as its results have shown this to be a crucial component in users' route choice decisions involving transfers.

9.4 Limitations and future research

The results and main findings of this doctoral thesis are restricted to urban public transport commuter trips. That means that only trips done in the dense consolidated urban city fabric have been considered, limiting transfers to metro, tram and urban buses.

This limitation offers a potential line of future research for big cities. For example, the transport system of Madrid, as many other cities, includes a more complex metropolitan reality moving towards suburbs: metropolitan buses, light rail, suburban rail, park&ride schemes and bike share systems. This transport system shows potential to estimate transfer perceptions not only between bus and metro, but also within the whole transport network. By replicating the methodology, costs and time would be reduced and findings will be of interest for understanding users' travel behaviour in a multiple modes supply system.

Madrid and Vitoria-Gasteiz are two opposite cities with different travel patterns. According to the definitive surveys a 77% of PT users in Madrid transfers in their commuting trips, which contrasts with the figure of 27% in Vitoria-Gasteiz. In the broad spectrum of cities between both case studies, it would be worth studying transfer perceptions in large cities as Valencia, Sevilla, Málaga and Zaragoza, where public transport users are probably used to transfer as in Madrid, and with a simple and integrated public transport network as in Vitoria-Gasteiz.

Regarding the stated preference experiment, it is unknown which design is preferable to create it if prior parameters are known. It would be of interest to replicate this experiment using a Bayesian design, and then compare the results with those in this thesis obtained with a D-efficient design.

Data campaigns should be also considered for future investigation. The analysis of both the cards delivered and the database with responses may provide a better understanding of answering and non-answering people profiles. Answer periods could be studied by gender, age, day of the week, etc. This analysis may contribute

to understand behaviours and attitudes towards transport surveys as well as improvements in survey designs and sampling practices in transport research.

Another line of research would be to replicate the study with diverse people profiles. Walking, waiting and in-vehicle times would be perceived differently by long-distance commuters, who spend more time inside a vehicle. Tourists are not familiarised with the transport network, thus being more sensible to information, intermodality and crowding. Another group of interest is senior citizens who perceives more negative walking distances, stairs and intermodality due to physical effort, but they have less time pressure. The perception of transfers will be also different for leisure trips, due to their different value of time.

Future research efforts should focus on determining the contribution of each of the variables explaining the pure transfer penalty. Nowadays it is unknown until what extent the pure transfer penalty could be minimised. This requires to identify precisely the variables affecting this penalty and their magnitude. It would also be interesting to rank their importance in users' perceptions and study how far they are affected by the application of information measures or planning decisions.

The descriptive analysis of both definitive surveys suggests the suitability to analyse the real perception of each transfer phase. This thesis estimates the perception of the total trip time, but it would be interesting to replicate the analysis with walking, waiting and in-vehicle times. Hence policy measures could be focused in those components which are more deterrent to transfer.

Further research is also required to insight the relationship between transferring and activities pursued while travelling. The results of focus groups showed that activities provided a utility to public transport users, who can use their traveling time to read, study or listen to music. However, the ECL model revealed that any activity appears as a significant factor affecting disutility. This could be explained by the activity disruption provoked each time that it is necessary to transfer between modes, but it remains somehow unclear.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Abrantes P.A. y Wardman M.R., 2011. Meta-analysis of UK values of travel time: An update. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(1), 1-17.
- AEMET (Agencia Estatal de Meteorología), 2018. Datos climatológicos. Disponible en: AEMET <<https://goo.gl/RbeK6M>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Alonso, A., Monzon, A. y Cascajo, R., 2015. Comparative analysis of passenger transport sustainability in European cities. *Ecological Indicators*, 48, 578-592.
- Anund, A., Dukic, T., Börsbo, B. y Falkmer, T., 2010. Piloting smart safe school bus: exploration of security gains from implementation of a driver support system, additional technical equipment and intelligent bus stops. *European Transport Research Review*, 2(3), 157-163.
- Atkins W.S. y Polak J., 1997. *Bus reliability-Stated preference research*. London: For the Department of Transport.
- Attride-Stirling, J., 2001. Thematic networks: an analytic tool for qualitative research. *Qualitative Research*, 1(3), 385-405.
- Ayuntamiento de Madrid, 2014. *Plan de Movilidad Urbana Sostenible de la ciudad de Madrid*. [pdf] Portal web del Ayuntamiento de Madrid. Disponible en: <<https://goo.gl/PrSKai>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Ayuntamiento de Madrid, 2017. *Indicadores demográficos por distrito*. [xls] Portal web del Ayuntamiento de Madrid. Disponible en: <<https://goo.gl/dnwLQm>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2010. *Vitoria-Gasteiz's application document to the European Green Capital Award 2012-2013*. [pdf] Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Disponible en: <<https://goo.gl/1GYo5d>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2016. *Informe de Población Vitoria-Gasteiz 2016 y Movimientos Demográficos 2015*. [pdf] Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Disponible en: <<https://goo.gl/zZDFV9>> [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Babbie, E., 2010. *The Practice of Social Research*. Wadsworth, Twelfth Edition, Cengage Learning, Belmont, CA.
- Bart, I.L., 2010. Urban sprawl and climate change: A statistical exploration of cause and effect, with policy options for the EU. *Land Use Policy*, 27(2), 283-292.
- Bates, J., 1988. Econometric issues in stated preference analysis. *Journal of Transport Economics and Policy*, 22(1), 59-69.

- Ben-Akiva, M. y Lerman, S.R., 1985. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press. ISBN: 9780262022170.
- Bennie, J., Davies, T.W., Duffy, J.P., Inger, R. y Gaston, K.J., 2014. Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. *Scientific Reports*, 4, 3789.
- Birnbaum, M.H., 2004. Human research and data collection via the internet. *Annual Review of Psychology*, 55, 803-832.
- Bliemer, M.C. y Rose, J.M., 2011. Experimental design influences on stated choice outputs: an empirical study in air travel choice. *Transportation Research A: Policy and Practice*, 45(1), 63-79.
- Bradley, M.A., 2009. Important stated preference experimental design issues in recent transportation applications. *Transport Reviews*, 29(5), 657-663.
- Bradley, M.A. y Daly, A.J., 1997. Estimation of logit choice models using mixed stated preference and revealed preference information. *Proceedings of Sixth International Conference on Travel Behaviour*, Quebec, 1, 117-133.
- Bradley, M.A. y Daly, A.J., 1994. Use of the logit scaling approach to test for rank-order and fatigue effects in stated preference data. *Transportation*, 21(2), 167-184.
- Bradley, M.A. y Kroes, E., 1992. Forecasting Issues in Stated Preference Survey Research. *Proceedings of the 3rd International Conference on Survey Methods in Transportation*, 5-7 de enero de 1990, Washington D.C, 89-107.
- Braun V. y Clarke, V., 2006. Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Bronzaft, A.L., Dobrow, S.B. y O'Hanlon, T.J., 1976. Spatial Orientation in a Subway System. *Environment and Behavior*, 8(4), 575-594.
- Broome, K., Worrall, L., Fleming, J. y Boldy, D., 2013. Evaluation of age-friendly guidelines for public buses. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 53, 68-80.
- Bruun, E., 2007. *Better Public Transit Systems: Analyzing Investments and Performance*. American Planners Association Press. ISBN 13: 9781932364484.
- Carreira, R., Patricio, L., Jorge, R.N., Magee, C. y Hommes, Q.V., 2013. Towards a holistic approach to the travel experience: A qualitative study of bus transportation. *Transport Policy*, 25, 233-243.

- Carreira, R., Patricio, L., Jorge, R.N. y Magee, C., 2014. Understanding the travel experience and its impact on attitudes, emotions and loyalty towards the transportation provider? A quantitative study with mid-distance bus trips. *Transport Policy*, 31, 35-46.
- Carrel, A., Halvorsen, A. y Walker, J.L., 2013. Passengers' Perception of and Behavioral Adaptation to Unreliability in Public Transportation. *Transportation Research Record*, 2351, 153-162.
- CEA (Centro de Estudios Ambientales), 2015. *Análisis de los resultados de la encuesta de movilidad 2014 de Vitoria-Gasteiz*. [pdf] Centro de Estudios Ambientales. Disponible en: <<https://goo.gl/DRmJ7V>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- CEA (Centro de Estudios Ambientales), 2017. *Plan de Movilidad Sostenible y Espacio Público*. Disponible en: Centro de Estudios Ambientales <<https://goo.gl/LrLgLI>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Ceder, A., Chowdhury, S., Taghipouran, N. y Olsen, J., 2013a. Modelling public-transport users' behaviour at connection point. *Transport Policy*, 27, 112-122.
- Ceder, A., Hadas, Y., McIvor, M. y Ang, A., 2013b. Transfer Synchronization of Public Transport Networks. *Transportation Research Record*, 2350, 9-16.
- Cheng, Y.H., 2010. Exploring passenger anxiety associated with train travel. *Transportation*, 37(6), 875-896.
- Cheng, Y.H. y Tseng, W.C., 2016. Exploring the effects of perceived values, free bus transfer, and penalties on intermodal metro-bus transfer users' intention. *Transport Policy*, 47, 127-138.
- Cherchi, E. y Hensher, D.A., 2015. Workshop synthesis: Stated preference surveys and experimental design, an audit of the journey so far and future research perspectives. *Transportation Research Procedia*, 11, 154-164.
- ChoiceMetrics, 2014. User Manual & Reference Guide, Ngene 1.1.2.
- Chowdhury, S. y Ceder, A., 2013a. A Psychological Investigation on Public-transport Users' Intention to Use Routes with Transfers. *International Journal of Transportation*, 1(1), 1-20.
- Chowdhury, S. y Ceder, A., 2013b. The Effect of Interchange Attributes on Public-Transport Users' Intention to Use Routes Involving Transfers. *Psychology & Behavioral Science*, 2(1), 5-13.
- Chowdhury, S. y Ceder, A., 2013c. Definition of Planned and Unplanned Transfer of Public Transport Service and User Decisions to Use Routes with Transfers. *Journal of Public Transportation*, 16(2), 1-20.

- Chowdhury, S., Ceder, A. y Sachdeva, R., 2014. The effects of planned and unplanned transfers on public transport users' perception of transfer routes. *Transportation Planning and Technology*, 37(2), 154-168.
- Chowdhury, S., Ceder, A. y Schwalger, B., 2015. The effects of travel time and cost savings on commuters' decision to travel on public transport routes involving transfers. *Journal of Transport Geography*, 43, 151-159.
- Cinyabuguma, M. y McConnell, V., 2013. Urban growth externalities and neighborhood incentives: another cause of urban sprawl? *Journal of Regional Science*, 53(2), 332-348.
- Clifton, K.J. y Handy, S.L., 2003. Qualitative Methods in Travel Behaviour Research. *Transport Survey Quality and Innovation*, 283-302.
- Cobanoglu, C., Warde, B. y Moreo, P.J., 2001. A comparison of mail, fax, and Web-based survey methods. *International Journal of Market Research*, 43, 441-452.
- Converse, P., Wolfe, E.W., Huang, X. y Oswald, F.L., 2008. Response Rates for Mixed-Mode Surveys Using Mail and E-mail/Web. *American Journal of Evaluation*, 29(1), 99-107.
- Couper, M.P., 2008. *Designing Effective Web Surveys*. Cambridge University Press, New York.
- Couper, M.P. y Miller, P.V., 2008. Web Survey Methods: Introduction. *Public Opinion Quarterly*, 72(5), 831-835.
- CRTM (Consorcio Regional de Transportes de Madrid), 2005. *Encuesta domiciliaria de movilidad de 2004 en la Comunidad de Madrid*. [pdf] Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Disponible en: <<https://goo.gl/ZgsfW8>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- CRTM (Consorcio Regional de Transportes de Madrid), 2014. *Encuesta sintética de movilidad en la Comunidad de Madrid*. [pdf] Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Disponible en: <<https://goo.gl/UkRNvH>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Currie, G., 2005. The Demand Performance of Bus Rapid Transit. *Journal of Public Transportation*, 8, 41-55.
- Currie, G. y Loader, C., 2010. Bus network planning for transfers and the network effect in Melbourne, Australia. *Transportation Research Record*, 2145, 8-17.
- Daskalakis, N. y Stathopoulos, A., 2008. Users' Perceptive Evaluation of Bus Arrival Time Deviations in Stochastic Networks. *Journal of Public Transportation*, 11(4), 25-38.

- de Graaff, T., van Oort, F.G. y Florax, R.J., 2012. Sectoral heterogeneity, accessibility and population–employment dynamics in Dutch cities. *Journal of Transport Geography*, 25, 115-127.
- de Keizer, B., Geurs, K.T. y Haarsman G.H., 2012. *A Closer look at customer resistance to interchange between trains*. ETC, Glasgow.
- de Keizer, B., Kouwenhoven, M. y Hofker, F., 2015. New insights in resistance to interchange. *Transportation Research Procedia*, 8, 72-79.
- Demographia, 2016. *World Urban Areas*, 12th Annual Edition, April. [pdf] Demographia. Disponible en: <<https://goo.gl/odwwGH>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Denzin, N.K. y Lincoln, Y.S., 2011. *The SAGE handbook of qualitative research*. SAGE Publications, Third Edition, London.
- Dijkstra, L. y Poelman, H., 2012. *Cities in Europe. The new OECD-EC definition. Regional Focus*. [pdf] European Commission. Disponible en: <<https://goo.gl/ulz2uZ>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Domencich, T. y McFadden, D., 1975. *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*. North-Holland, Amsterdam.
- Douglas, N. y Karpouzis, G., 2005. Estimating the Passenger Cost of Station Crowding. *28th Australasian Transport Research Forum*, Sydney.
- Douglas, N. y Jones, M., 2013. Estimating Transfer Penalties and Standardised Income Values of Time by Stated Preference Survey. *36th Australian Transport Research Forum*, Brisbane, 1-21.
- Dziekan, K., 2007. *Learning an unfamiliar public transport system: An in-depth study from the user perspective in Stockholm*. Royal Institute of Technology School of Architecture and the Built Environment, Stockholm.
- Dziekan, K., 2008. *Ease-of-use in public transportation: a user perspective on information and orientation aspects*. PhD thesis, KTH.
- Dziekan, K. y Vermeulen, A., 2006. Psychological effects of and design preferences for real-time information displays. *Journal of Public Transportation*, 9(1), 1-19.
- EEA (European Environment Agency), 2016. *Urban sprawl in Europe*. Joint EEA-FOEN Report. [pdf] European Environment Agency. Disponible en: <<https://goo.gl/2tjipR>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Emmerson, C., Guo, W., Blythe, P., Namdeo, A. y Edwards, S., 2013. Fork in the road: In-vehicle navigation systems and older drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 173-180.

- Espino, R., Martín, J.C. y Román, C., 2007. Análisis de la calidad del transporte de pasajeros. Un estudio de la disposición a pagar por no trasbordar. *X Encuentro de Economía Aplicada*, Logroño.
- European Commission, 2013. *Thematic Research Summary: Passenger Transport*. [pdf] European Commission. Disponible en: <<https://goo.gl/qpoSuU>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- European Union, 2011. *Cities of tomorrow. Challenges, visions, ways forward*. [pdf] European Union Regional Policy. Disponible en: <<https://goo.gl/S7daPg>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Evans J.R. y Mathur, A., 2005. The value of online surveys. *Internet Research*, 15(2), 195-219.
- Ferrer, S., Ruiz, T. y Mars, L., 2015. A qualitative study on the role of the built environment for short walking trips. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 33, 141-160.
- Fielbaum, A., Jara-Díaz, S.R. y Gschwender, A., 2016. Optimal public transport networks for a general urban structure. *Transportation Research Part B: Methodological*, 94, 298-313.
- Frei, C., Hyland, M. y Mahmassani, H.S., 2017. Flexing service schedules: Assessing the potential for demand-adaptive hybrid transit via a stated preference approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 76, 71-89.
- Friman, M., 2010. Affective dimensions of the waiting experience. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 13(3), 197-205.
- Frumkin, H., Frank, L. y Jackson, R.J., 2004. *Urban sprawl and public health - Designing, planning, and building for healthy communities*. Island Press, First Edition, Washington, D.C.
- García, A., 2015. El método de investigación. *Curso de Formación de Evaluadores de la Dirección General de Tráfico*, Cercedilla, Madrid.
- García-Martínez, A., Monzon, A., Munkácsy, A. y Lillo, R., 2016. Impacto de la bicicleta eléctrica de Madrid (BiciMAD) en los hábitos de movilidad ciclista tras un año de funcionamiento. *XIX Pan-American Conference of Traffic, Transportation Engineering and Logistics*, Mexico City.
- Greene, W.H., 2007a. *NLogit Versión 4.0 - Reference Guide*. Econometric Software, Inc.
- Gschwender, A., Jara-Díaz, S.R. y Bravo, C., 2016. Feeder-trunk or direct lines? Economies of density, transfer costs and transit structure in an urban context. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 88, 209-222.

- Guo, Z., 2003. *Assessment of the Transfer Penalty for Transit Trips in Downtown Boston. A GIS-based Disaggregate Modeling Approach*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- Guo, Z. y Wilson, N., 2004. Assessment of the Transfer Penalty for Transit Trips Geographic Information System-Based Disaggregate Modeling Approach. *Journal of the Transportation Research Board*, 1872, 10-18.
- Guo, Z. y Wilson, N., 2007. Modeling Effects of Transit System Transfers on Travel Behavior: Case of Commuter Rail and Subway in Downtown Boston, Massachusetts. *Journal of the Transportation Research Board*, 2006, 11-20.
- Guo, Z. y Wilson, N., 2011. Assessing the cost of transfer inconvenience in public transport systems: A case study of the London Underground. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(2), 91-104.
- Gwyther, H. y Holland, C., 2014. Feelings of vulnerability and effects on driving behaviour - A qualitative study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 24, 50-59.
- Hancock P.A. y Rausch, R., 2010. The effects of sex, age, and interval duration on the perception of time. *Acta Psychologica*, 133(2), 170-179.
- Henderson, J.V. y Venables, A., 2009. The Dynamics of City Formation. *Review of Economic Dynamics*, 12, 233-254.
- Hensher, D.A., 1994. Stated preference analysis of travel choices: the state of practice. *Transportation*, 21(2), 107-133.
- Hernandez, S., 2015. *Assessment methodology to make urban transport interchanges attractive for users*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid.
- Hernandez, S., Monzon, A. y de Ona, R., 2016. Urban transport interchanges: A methodology for evaluating perceived quality. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 84, 31-43.
- Hess, D.B., Brown, J. y Shoup, D., 2004. Waiting for the Bus. *Journal of Public Transportation*, 7(4), 67-84.
- Hine, J. y Scott, J., 2000. Seamless, accessible travel: Users' views of the public transport journey and interchange. *Transport Policy*, 7(3), 217-226.
- Hine, J. y Preston, S., 2003. *Integrated futures and transport choices: UK Transport Policy Beyond the 1998 White Paper*. Ashgate.
- Hoogendoorn-Lanser, S., 2005. Modelling transfers in multimodal trips: explaining correlations. *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*, Antwerpen.

- Horowitz, A.J. y Zlosel, D.J., 1981. Transfer penalties: Another look at transit riders' reluctance to transfer. *Transportation*, 10(3), 279-282.
- Horowitz, A.J. y Thompson, N.A., 1994. Evaluation of intermodal passenger transfer facilities. Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Horowitz, A.J. y Thompson, N.A., 1995. Generic objectives for evaluation of intermodal passenger transfer facilities. *Transportation Research Record*, 1503, 104-110.
- Huber, J. y Zwerina, K., 1996. The Importance of Utility Balance in Efficient Choice Designs. *Journal of Marketing Research*, 33, 307-317.
- Huth, V., Füssl, E. y Risser, R., 2014. Motorcycle riders' perceptions, attitudes and strategies: Findings from a focus group study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 25, 74-85.
- Ibeas, A., Dell'Olio, L. y Montequín, R.B., 2011. Citizen involvement in promoting sustainable mobility. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 475-487.
- Ibeas, A., González, F., Dell'Olio, L. y Moura, J.L., 2015a. *Manual de Encuestas de Movilidad: Preferencias Reveladas*. Grupo de Investigación de Sistemas de Transporte, Universidad de Cantabria. ISBN: 978-8460676065.
- Ibeas, A., González, F., Dell'Olio, L. y Moura, J.L., 2015b. *Manual de Encuestas de Movilidad: Preferencias Declaradas*. Grupo de Investigación de Sistemas de Transporte, Universidad de Cantabria. ISBN: 978-1511877473.
- INE (Instituto Nacional de Estadística), 2018a. *Demografía y población*. Spanish Statistical Office. Disponible en: <<https://goo.gl/bQLLBj>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- INE (Instituto Nacional de Estadística), 2018b. *Censo 2011*. Spanish Statistical Office. Disponible en: <<https://goo.gl/b7aseq>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Iseki, H. y Smart, M.J., 2012. How Do People Perceive Service Attributes at Transit Facilities? Examination of Perceptions of Transit Service by Transit User Demographics and Trip Characteristics. *Journal of the Transportation Research Board*, 2274, 164-174.
- Iseki, H. y Taylor, B.D., 2009. Not All Transfers Are Created Equal: Towards a Framework Relating Transfer Connectivity to Travel Behaviour. *Transport Reviews*, 29, 777-800.
- Iseki, H. y Taylor, B.D., 2010. Style versus service? An analysis of user perceptions of transit stops and stations. *Journal of Public Transportation*, 13(3), 39-63.

- Jang, T.Y., 2003. Causal relationship among travel mode, activity, and travel patterns. *Journal of Transportation Engineering*, 129(1), 16-22.
- Jara-Díaz, S.R., 2007. *Transport Economic Theory*. Elsevier, Oxford.
- Jara-Díaz, S.R., Gschwender, A. y Ortega, M., 2012. Is public transport based on transfers optimal? A theoretical investigation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(7), 808-816.
- Jensen, H.L., 2012. Emotions on the move: Mobile emotions among train commuters in the South East of Denmark. *Emotion, Space and Society*, 5(3), 201-206.
- Johnson, F.R., Lancsar, E., Marshall, D., Kilambi, V., Mühlbacher, A., Regier, D.A., Bresnahan, B.W., Kanninen, B. y Bridges, J.F., 2013. Constructing Experimental Designs for Discrete-Choice Experiments: Report of the ISPOR Conjoint Analysis Experimental Design Good Research Practices Task Force. *Value in Health*, 16(1), 3-13.
- Jones, C. y Kammen, D.M., 2014. Spatial distribution of U.S. household carbon footprints reveals suburbanization undermines greenhouse gas benefits of urban population density. *Environmental Science & Technology*, 48(2), 895-902.
- Kaplan, S., Bekhor, S. y Shiftan, Y., 2012. Web-based survey design for unravelling semi-compensatory choice in transport and urban planning. *Transportation Planning and Technology*, 35(2), 121-143.
- Kenworthy, J.R., Laube, F.B., Newman, P., Barter, P., Raad, T., Poboan, C. y Guia Jr, B., 1999. *An international sourcebook of automobile dependence in cities 1960–1990*. Boulder, Colo, University Press of Colorado.
- Kenyon, S. y Lyons, G., 2003. The value of integrated multimodal traveller information and its potential contribution to modal change. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(1), 1-21.
- Kitzinger, J., 1995. Qualitative research. Introducing focus groups. *British Medical Journal*, 311(7000), 299-302.
- Krueger, R.A., 1997. *Moderating Focus Groups*. SAGE Publications.
- Krueger, R.A., 2002. *Designing and conducting focus group interviews*. [pdf] University of Minnesota. Disponible en: <<https://goo.gl/z9bggL>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Krueger R.A. y Casey, M.A., 2014. *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research*. SAGE Publications, Fifth Edition.

- Laaksonen, S. y Heiskanen, M., 2013. Comparison of three survey modes. Working Paper, University of Helsinki, Department of Social Research.
- Lacy, D. y Bonsall, P., 2001. Misperception and mode choice. *World Conference on Transportation Research*, Seoul, South Korea.
- Lappin, J.E., 2000. *What have we learned about advanced traveler information systems and customer satisfaction?* Chapter 4 in: *What have we learned about intelligent transportation systems?* Federal Highway Administration, U.S Department of Transportation. Island Press, Washington D.C.
- LaRose, R. y Tsai, H.S., 2014. Completion rates and non-response error in online surveys: Comparing sweepstakes and pre-paid cash incentives in studies of online behaviour. *Computers in Human Behavior*, 34, 110-119.
- Liu, R., Pendyala, R. y Polzin, S., 1997. Assessment of Intermodal Transfer Penalties Using Stated Preference Data. *Transportation Research Record*, 1607(1), 74-80.
- Liu, T.Y., Su, C.W. y Jiang, X.Z., 2015. Is economic growth improving urbanisation? A cross-regional study of China. *Urban Studies*, 52(10), 1883-1898.
- Lopez-Lambas, M.E. y Garcia-Martinez, A., 2015. *Las Ciudades y la Bicicleta*. [pdf] Red CiViNET España y Portugal. Disponible en: <<https://goo.gl/9DU1ZS>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Louviere, J.J., 1988. *Analyzing Decision Making: Metric Conjoint Analysis*. Quantitative Applications in the Social Sciences, 67. SAGE Publications.
- Louviere, J.J., Beavers, L.L., Norman, K.L. y Stetzer, F.C., 1973. Theory, methodology and findings in mode choice behaviour. Working Paper, Institute of Urban and Regional Research, University of Iowa.
- Louviere, J.J., Hensher, D.A. y Swait, J.D., 2000. *Stated Choice Methods: Analysis and Application*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Louviere, J.J., Islam, T., Wasi, N., Street, D. y Burgess, L., 2008. Designing discrete choice experiments: do optimal designs come at a price? *Journal of Consumer Research*, 35(2), 360-375.
- May, A.D., Shepherd, S.P., Emberger, G., Ash, A., Zhang, X.Y. y Paulley, N., 2005. Optimal land use-transport strategies - Methodology and application to European cities. *Transportation Research Record*, 1924, 129-138.
- Mac Nally, R., 2000. Regression and model-building in conservation biology, biogeography and ecology: the distinction between –and reconciliation of– 'predictive' and 'explanatory' models. *Biodiversity and Conservation*, 9, 655-671.

- McCord, M.M., Wirtz, J. y Mishalani, R.G., 2006. Passenger waiting time perceptions at bus stops. *Journal of Public Transportation*, 9(2), 89-106.
- McFadden, D., 1979. *Quantitative Methods for Analyzing Travel Behaviour on Individuals: Some Recent Developments*. Chapter 15 in: Behavioural Travel Modelling. Croom Helm.
- Ministerio de Fomento, 2016. *Atlas Digital de las Áreas Urbanas*. Disponible en: Portal de Suelo y Políticas Urbanas. <<https://goo.gl/DdBDLh>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Monzon, A. y Di Ciommo, F., 2016. *CITY-HUBs: Sustainable and Efficient Urban Transport Interchanges*. CRC Press, Taylor Francis Group. ISBN: 9781498740845.
- Monzon, A., Garcia-Martinez, A., Hernandez, S., Munkácsy, A. y Velazquez, G., 2017. Improving mobility surveys quality and rate of responses at low cost by combining intercept and web questionnaire methods. *11th International Conference on Transport Survey Methods (ISCTSC)*, 24-29 de septiembre de 2017, Estérel, Québec, Canadá.
- Monzon, A., Hernandez, S. y Cascajo, R., 2013. Quality of Bus Services Performance: Benefits of Real Time Passenger Information Systems. *Transport and Telecommunication*, 14(2), 155-166.
- Moreau, A., 1992. Public Transport Waiting Times As Experienced By Customers. *Public Transport International*, 41(3), 52-71.
- Morgan, D.L., 1996. Focus Groups. *Annual Review of Sociology*, 22, 129-152.
- Morgan, D.L., 1997. Focus groups as qualitative research. SAGE Publications, Newbury Park, CA.
- Moudon, A.V., 2009. Real noise from the urban environment: How ambient community noise affects health and what can be done about it. *American Journal of Preventive Medicine*, 37(2), 167-171.
- Munkácsy, A., 2017. *User profiles and adoption attributes of innovative bike-sharing systems: the case of BiciMAD (Madrid)*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid.
- Munkácsy, A. y Monzon, A., 2017a. Impacts of Smart Configuration in Pedelec-Sharing: Evidence from a Panel Survey in Madrid. *Journal of Advanced Transportation*, 2017, 1-11.

- Munkácsy, A. y Monzon, A., 2017b. Potential User Profiles of Innovative Bike-Sharing Systems: The Case of BiciMAD (Madrid, Spain). *Asian Transport Studies*, 4(3), 621-638.
- Murray, L., 2015. Age-friendly mobilities: A transdisciplinary and intergenerational perspective. *Journal of Transport & Health*, 2(2), 302-307.
- MVA Consultancy, 1987. Off Peak Demand. Prepared for British Railways Board.
- Navarrete, F.J., 2010. *Valoración Subjetiva del Transbordo en Transporte Público: Caso Santiago de Chile*. PhD thesis. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Navarrete, F.J. y Ortúzar, J.D., 2013. Subjective valuation of the transit transfer experience: The case of Santiago de Chile. *Transport Policy*, 44(6), 138-147.
- Nesheli, M.M., Ceder, A. y Estines, S., 2016. Public transport user's perception and decision assessment using tactic-based guidelines. *Transport Policy*, 49, 125-136.
- Nielsen, G. y Lange, T., 2007. Network Design for Public Transport Success – Theory and Examples. *10th International Conference on Competition and Ownership of Land Passenger*, Hamilton Island, Queensland, Australia.
- Observatorio de la Movilidad Metropolitana (OMM), 2017. *Informe del OMM 2015*. [pdf] Centro de Investigación del Transporte, Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: <<https://goo.gl/5jp2u5>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), 2016. *OECD Regions at a Glance 2016*. OECD Publishing, Paris.
- Orro, A., 2006. *Modelos de elección discreta en transportes con coeficientes aleatorios*. Cátedra Abertis, Barcelona. ISBN: 84-689-9554-1.
- Orro, A., Anta, J., Conles, E. y Novales, M., 2016. ¿Es el metro ligero más atractivo que el autobús de alto nivel de servicio? *XII Congreso de Ingeniería del Transporte*, Valencia, Spain.
- Ortúzar, J.D. y Garrido, R.A., 2000. *Rank, rate or choice?: an evaluation of SP methods in Santiago*. Chapter in: Stated Preference Modelling Techniques, Perspectives 4. PTRC, London.
- Ortúzar, J.D. y Román, C., 2003. El problema de modelación de demanda desde una perspectiva desagregada: el caso del transporte. *Revista de Estudios Urbano Regionales*, 29(88).

- Ortúzar, J.D., Roncagliolo, D.A. y Velarde. U.C., 2000. Interactions and independence in stated preference modelling. Chapter in: Stated Preference Modelling Techniques, Perspectives 4. PTRC, London.
- Ortúzar, J.D. y Willumsen, L.G., 2011. *Modelling Transport*. Wiley, Fourth Edition.
- Palmer, D., James, C. y Jones M., 2011. *Door to Door Journeys*. [pdf] Transport Research Laboratory. Disponible en: <<https://goo.gl/s5unLL>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Pauliuk, S., Venkatesh, G., Brattebø, H. y Müller, D.B., 2014. Exploring urban mines: Pipe length and material stocks in urban water and wastewater networks. *Urban Water Journal*, 11(4), 274-283.
- Pfefferman, D., 1993. The role of sampling weights when modeling survey data. *International Statistical Review*, 61(2), 317-337.
- Powell, R.A., Single, H.M. y Lloyd, K.R., 1996. Focus groups in mental health research: enhancing the validity of user and provider questionnaires. *International Journal of Social Psychology*, 42(3), 193-206.
- Rasouli, S. y Timmermans, H., 2014. Judgments of travel experiences, activity envelopes, trip features and multi-tasking: a panel effects regression model specification. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 63, 67-75.
- Raveau, S., Guo, Z., Muñoz, J.C. y Wilson, N., 2014. A behavioural comparison of route choice on metro networks: Time, transfers, crowding, topology and socio-demographics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 66, 185-195.
- Reynolds, M.M. y Hixson, C.D., 1992. Transit Vehicle Meets System: A Method For Measuring Transfer Times Between Transit Routes. *Transportation Research Record*, 1349, 35-41.
- Richardson, A.J., Ampt, E.S. y Meyburg, A.H., 1995. *Survey methods for transport planning*. Eucalyptus Press, Melbourne.
- Roetting, M., Yueng-Hsiang, H., McDevitt, J. y Melton, D., 2003. When technology tells how you drive-truck drivers attitudes towards feedback by technology. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6, 275-287
- Rose, J.M., Bliemer, M.C., Hensher, D.A. y Collins, A.T., 2008. Designing efficient stated choice experiments in the presence of reference alternatives. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(4), 395-406.
- Rose, J.M. y Bliemer, M.C., 2009. Constructing efficient stated choice experimental designs. *Transport Reviews*, 29(5), 587-617.

- Roztocki, N. y Morgan, S.D., 2002. The use of web-based surveys for academic research in the field of engineering. *Proceedings of Engineering Management in the Global Environments*, 33-38.
- Saghapour, T., Moridpour, S. y Thompson, R., 2016. Public transport accessibility in metropolitan areas: A new approach incorporating population density. *Journal of Transport Geography*, 54, 273-285.
- Sandelowski, M., 2001. Real qualitative researchers do not count: the use of numbers in qualitative research. *Research in Nursing & Health*, 24, 230-240.
- Sanko, N., 2001. *Guidelines for Stated Preference Experiment Design*. Master thesis. Master of Business Administration, School of International Management, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Disponible en: <<https://goo.gl/kMW2qH>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Schakenbos, R., 2014. *Valuation of a transfer in a multimodal public transport trip. A stated preference research into the experienced disutility of a transfer between bus/tram/metro and train within the Netherlands*. PhD thesis, University of Twente.
- Schakenbos, R., La Paix, L., Nijenstein, S. y Geurs, K.T., 2016. Valuation of a transfer in a multimodal public transport trip. *Transport Policy*, 46, 72-81.
- Schmidt, W.C., 1997. World-Wide Web survey research: Benefits, potential problems, and solutions. *Behavior Research Methods*, 29(2), 274-279.
- Schouten, B., Cobben, F. y Bethlehem, J., 2009. Indicators for the representativeness of survey response. *Survey Methodology*, 35(1), 101-113.
- Shires, J.D. y de Jong, G.C., 2009. An international meta-analysis of values of travel time savings. *Evaluation and Program Planning*, 32(4), 315-325.
- Sills, S.J. y Song, C., 2002. Innovations in survey research: an application of web-based surveys. *Social Science Computer Review*, 20(1), 22-30.
- Simons, D., Clarys, P., De Bourdeaudhuij, I., de Geus, B., Vandelanotte, C. y Deforche, B., 2013. Factors influencing mode of transport in older adolescents: a qualitative study. *BMC Public Health*, 13(1), 323.
- Simons, D., Clarys, P., De Bourdeaudhuij, I., de Geus, B., Vandelanotte, C. y Deforche, B., 2014. Why do young adults choose different transport modes? A focus group study. *Transport Policy*, 36, 151-159.
- Smith, A.S. y Wheat, P., 2012. Evaluating alternative policy responses to franchise failure: Evidence from the passenger rail sector in Britain. *Journal of Transport Economics and Policy*, 46(1), 25-49.

- Solon, G., Haider, S.J. y Wooldridge, J.M., 2013. What are we weighting for? *Journal of Human Resources*, 50(2), 301-316.
- Strauss, A. y Corbin J., 1998. *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. SAGE Publications, Second Edition.
- Sultana, S. y Weber, J., 2007. Journey-to-work patterns in the age of sprawl: Evidence from two midsize southern metropolitan areas. *Professional Geographer*, 59(2), 193-208.
- Sultana, S. y Weber, J., 2014. The Nature of Urban Growth and the Commuting Transition: Endless Sprawl or a Growth Wave? *Urban Studies*, 51(3), 544-576.
- Tang, L. y Thakuriah, P., 2012. Ridership effects of real-time bus information system: A case study in the City of Chicago. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 22, 146-161.
- Tirachini, A., Hensher, D.A. y Rose, J.M., 2013. Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 53, 36-52.
- Townsend, C. y Cherry, T., 2012. Assessment of Potential Improvements to Metro-Bus Transfers in Bangkok, Thailand. *Transportation Research Record*, 2276, 116-122.
- Tracy, S.J., 2010. Qualitative quality: eight “big-tent” criteria for excellent qualitative research. *Qualitative Inquiry*, 16(10), 837-851.
- Train, K., 2003. *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Travisi, C.M., Camagni, R. y Nijkamp, P., 2010. Impacts of urban sprawl and commuting: A modelling study for Italy. *Journal of Transport Geography*, 18(3), 382-392.
- Trompet, M., Parasram, R. y Anderson, R., 2013. Benchmarking Disaggregate Customer Satisfaction Scores of Bus Operators in Different Cities and Countries. *Transportation Research Record*, 2351, 14-22.
- United Nations Population Division, 2008. *World Urbanization Prospects - The 2007 Revision, Highlights*. Department of Economic and Social Affairs. New York. [pdf] United Nations. Disponible en: <<https://goo.gl/0gIHd6>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].

- Van Audenhove, F.J., Korniiichuk, O., Dauby, L. y Pourbaix, J., 2014. The Future of Urban Mobility 2.0 - Imperatives to shape extended mobility ecosystems of tomorrow. [pdf] Arthur D. Little. Disponible en: <https://goo.gl/Ku1nHJ>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Van Cauwenberg, J., Van Holle, V., Simons, D., Deridder, R., Clarys, P., Goubert, L., Nasar, J., Salmon, J., De Bourdeaudhuij, I. y Deforche, B., 2012. Environmental factors influencing older adults' walking for transportation: a study using walk-along interviews. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 9(1), 85.
- Van Hagen, M., 2011. *Waiting experience at train stations*. University of Twente, Delft.
- Varotto, S.F., Glerum, A., Stathopoulos, A., Bierlaire, M. y Longo, G., 2017. Mitigating the impact of errors in travel time reporting on mode choice modelling. *Journal of Transport Geography*, 62, 236-246.
- Vicente, P. y Reis, E., 2010. Using Questionnaire Design to Fight Nonresponse Bias in Web Surveys. *Social Science Computer Review*, 28(2), 251-267.
- Vingilis, E., Seeley, J. y Wiesenthal, D., 2013. Street racing and stunt driving in Ontario, Canada: Results of a web-based survey of car and racing enthusiasts. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 30-42.
- Walle, S.V. y Steenberghen, T., 2006. Space and time related determinants of public transport use in trip chains. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40, 151-162.
- Wardman, M., 2001. A review of British evidence on time and service quality valuations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(2-3), 107-128.
- Wardman, M. y Hine, J., 2000. Costs of Interchange: A Review of the Literature. Working Paper 546, Institute of Transport Studies, University of Leeds.
- Wardman, M., Hine, J. y Stradling, S., 2001. *Interchange and Travel Choice*. Central Research Unit.
- Watkins, K.E., Ferris, B., Borning, A., Rutherford, G.S. y Layton, D., 2011. Where Is My Bus? Impact of mobile real-time information on the perceived and actual wait time of transit riders. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45, 839-848.
- Woyciechowicz, A. y Shliselberg, R., 2005. Wayfinding in Public Transportation. *Journal of the Transportation Research Board*, 1903, 35-42.

- Yang, F., Chen, L., Cheng, Y., Luo, X. y Ran, B., 2014. An Empirical Study of Parameter Estimation for Stated Preference Experimental Design. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, Article ID 292608.
- Yang, L., Choudhury, C.F., Ben-Akiva, M., Abreu, J. y Carvalho, D., 2009. Stated Preference Survey for New Smart Transport Modes and Services: Design, Pilot Study and New Revision. [pdf] Working Paper, MIT Portugal, Transportation Systems. Disponible en: <<https://goo.gl/HuVYqG>>. [Consultado el 20 de junio de 2018].
- Yun, G.W. y Trumbo, C.W., 2000. Comparative response to a survey executed by post, e-mail, & Web form. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 6(1).

ANEXOS

ANEXO I. Publicaciones derivadas de la tesis doctoral

La tesis doctoral ha derivado en dos publicaciones científicas:

- (1) Cascajo, R., Garcia-Martinez, A. y Monzon, A., 2017. Stated Preference Survey for Estimating Passenger Transfer Penalties: Design and Application to Madrid. *European Transport Research Review*, 9(42), 1-11. ISSN: 1867-0717.
- (2) Garcia-Martinez, A., Cascajo, R., Jara-Diaz, S.R., Chowdhury, S. y Monzon, A., 2017. Transfer penalties in multimodal public transport networks. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Article in press. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.016>.

La siguiente tabla muestra el ranking de las revistas en que se han publicado los artículos mencionados, de acuerdo a “InCites Journal Citation Reports” del año 2016.

Revista	Categoría	Núm. de revistas	Ranking de la revista	Cuartil	Factor de impacto
European Transport Research Review	Transportation Science & Technology	34	24	Q3	0.962
Transportation Research Part A: Policy and Practice	Transportation	33	8	Q1	2.609
	Economics	347	41	Q1	

El contenido de la tesis doctoral también se ha presentado en congresos:

- (1) Garcia-Martinez, A., Cascajo, R., Monzon, A. y Jara-Diaz, S.R., 2018. Users' perception of transfers: a comparison of two Spanish cities. Ponencia en el *XIII Congreso de Ingeniería del Transporte*, 6-8 de junio, Gijón, España.
- (2) Monzon, A., Garcia-Martinez, A., Hernandez, S., Munkacsy, A. y Velazquez, G., 2017. Improving mobility surveys quality and rate of responses at low cost by combining intercept and web questionnaire methods. Ponencia en la *11th International Conference on Transport Survey Methods in the era of big data: facing the challenges*, 24-29 de septiembre, Estérel, Québec, Canadá.
- (3) Cascajo, R., Garcia-Martinez, A. y Monzon, A., 2017. Stated Preference Survey For Estimating Passenger Transfer Penalties: Design and Application to Madrid. Póster en el congreso *96th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 8-12 de enero, Washington, D.C., Estados Unidos.

A continuación, se adjuntan los dos artículos científicos referidos anteriormente.

Stated preference survey for estimating passenger transfer penalties: design and application to Madrid

Rocio Cascajo¹ · Andres Garcia-Martinez² · Andres Monzon³

Received: 23 December 2016 / Accepted: 21 July 2017
© The Author(s) 2017. This article is an open access publication

Abstract

Introduction Transfers in multimodal urban trips imply a disutility for travellers, who perceive them as a penalty when using public transport. It is therefore important to estimate the utility associated to transfers and the main factors affecting it, to allow policymakers to reduce users' perceived disutility and enhance their intention to use public transport. The aim of this paper is to develop a Stated Preference experiment to estimate the penalty perceived by commuters (workers and students) when making transfers in multimodal urban trips.

Method A web-based survey combining a Revealed Preferences and Stated Preferences survey was created using Ngene software, and an efficient design was applied to estimate multinomial logit models. We present here the first stage of the research: the design and results of the pilot survey of commuters travelling by metro or urban bus in the city of Madrid, Spain.

Results The findings reveal a pure transfer penalty, independent of in-vehicle time, walking and waiting time and crowding. This pure penalty increases with the number of transfers. Crowded transfers cause a high disutility for commuters, which rises with the number of transfers in the total trip.

Conclusions This paper highlights the importance of conducting a pilot survey when designing the final survey.

Transfer penalties vary between cities, so pilot studies are encouraged to obtain more accurate results. Further research is needed to consolidate the pilot results with those of a final survey.

Keywords SP experiment · Web-based survey · Transfer penalty · Efficient design · Utility functions

1 Introduction

Numerous studies have addressed the transfer phenomenon in recent decades. Passengers perceive a penalty associated to the fact of transferring, which has been defined by some authors as the disutility of one transfer option compared to a non-transfer alternative [1]. Others see it as an extra cost caused by the additional effort required to make connections [2]. Currie [3] and Iseki and Taylor [4] identified a pure transfer penalty, independent of walking and waiting time, but dependent on other factors such as the availability of adequate information, safety, security, comfort and convenience, familiarity with the public transport (PT) system, and frequency of PT use. Cascajo et al. [5] recently identified these factors through qualitative research based on focus groups (FGs). FGs have proved very useful during the design phase of the questionnaires [6], and have been used by authors to identify which variables to include in surveys of PT users. As a continuation of this research, the purpose of this paper is to design an experiment to estimate passenger transfer penalties in urban PT trips.

The estimation of pure transfer penalties is essential to enable policymakers to reduce, as far as possible, passengers' aversion to transfer, as some even choose not to travel by PT if it involves a transfer. Some researchers have estimated transfer penalties by designing stated preferences (SP) experiments

✉ Rocio Cascajo
rocio.cascajo@upm.es

¹ Transport Research Centre, TRANSyT, Universidad Politécnica de Madrid ETSI Caminos, Canales y Puertos, C/ Profesor Aranguren, s/n. 28040, Madrid, Spain

² Transport Research Centre, TRANSyT, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain

³ Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, Spain

[7–9]. The use of SP surveys has become widespread in a range of fields such as marketing, transport, health economics, and agricultural and environmental economics [10]. They can elicit responses regarding the behaviour of a single individual or group to estimate and identify their preferences. SP methods have been widely used in the transport field since the 1980s [11, 12], and can be effectively applied to estimate transfer penalties, as they measure perceptions and attitudes. Douglas and Jones [7] describe a SP survey undertaken in Sydney in 2012 to derive ‘pure’ transfer penalties that separate the cost of the penalty of walking and waiting times. The survey was designed to test the difference between ‘same platform’ and ‘up and down’ transfers involving escalators or elevators, as well as bus-to-bus and bus/rail transfers, and used pair-wise choices presented on computer tablets. A logit model isolated the pure transfer penalty and estimated penalties for different types of transfer. Navarrete and Ortúzar [8] investigated users’ subjective valuations of the transfer experience and the influences of certain variables on transferring between PT modes. Their analysis consisted of a qualitative study based on FGs and a quantitative study with a SP experiment and the estimation of advanced discrete choice models. Finally, Schakenbos [9] carried out SP research to determine the disutility of a transfer between bus/tram/metro and train, and estimated a general mixed logit error component model (ECL). The alternatives in the choice experiment are described by six attributes, and the results provide insights into their relative importance, expressed in generalized travel time.

This article focuses on the pure transfer penalty and its estimation; i.e. the penalty of an ideal transfer in which walking and waiting times are equal to zero. The experimental design is applied to Madrid, the capital of Spain. As the first step in the research, this paper develops a pilot survey to obtain more accurate and precise prior parameters for calibrating a MNL model. The results of the pilot survey are used to design the definitive survey. The questionnaire provides both RP data on current travel behaviour and SP data on route choices under scenarios with a different number of transfers. Bradley and Daly [13] highlight the desirability of combining the stronger features of RP and SP data. Many researchers have assessed the transfer penalty by designing a survey with a RP part and a SP part [7–9, 14, 15]. The survey sample was drawn from a diverse population of commuters travelling by urban bus and metro in the city of Madrid. In common with other researches [8, 16], the survey was restricted to commuters due to their higher transfer rates [17]. This research considers commuters to be people who periodically and recurrently travel between their place of residence and their place of work or study. This article is the first step in identifying the relevant attributes involved in the way travellers perceive transfers, and analyses the results of the pilot survey in order to propose preliminary policy recommendations.

The paper is structured as follows. Section 2 presents the methodological background of the research. Section 3 proposes an experimental design for estimating passenger transfer penalties applied to Madrid, and Section 4 presents the definitive redesign of the survey based on the results of the pilot survey. Finally, Section 5 discusses the paper’s main outcomes and conclusions.

2 Methodological background

This section contains the methodology used to estimate the penalties associated to transfers. A SP survey is designed using a qualitative approach based on the variables obtained from a FG. SP surveys generally require the definition of the model and the parameters to be estimated in order to build the experimental design and create the questionnaire.

Figure 1 shows the methodology. The first step is to identify the most important known variables affecting the perception of transfers from a review of the literature. A series of FGs are then conducted with PT users to identify these variables in their multimodal trips in the proposed case study. According to Iseki and Taylor [4], transfer penalties vary between cities, so city-specific studies are required for a more accurate identification of the variables. A SP experiment was designed with an efficient design using Ngene software based on the variables identified in the literature review and FGs. A pilot survey is needed to obtain more accurate and precise prior parameters for calibrating a MNL model with Limdep NLogit software. Finally, the definitive survey was created with Ngene software. This means that the MNL model is adjusted; in other words, that almost all the parameters of the variables are significantly different from zero at the 95% level. The following steps in the research are also shown in Fig. 1 (although they are not part of the objective of this paper). After the final survey, the data were used as input to calibrate a ML model with NLogit software, which serve as a tool to propose policy recommendations and to quantify PT users’ perception of transfers.

2.1 Focus group approach

Qualitative methods can gather information directly from transport users in order to understand “why” user decisions are being made. Qualitative methods offer a powerful tool for understanding the complexities of travel behaviour. Different methods such as FGs and interviews have been applied in recent decades, and can be combined with quantitative approaches or used on their own to fill the gaps left by quantitative techniques [18]. When analysing the transfer phenomenon, some researchers have used FGs as a first step to identify the variables to include in the SP experiment [8, 9, 19]. Following these approaches, we decided to use FGs to identify

Fig. 1 Methodology chart

the factors most penalised by PT users when taking a route with transfers in urban areas.

The findings of this focus group study serve as the basis for designing the preliminary or pilot version of the survey.

2.2 Modelling utility functions

Random utility theory postulates that individuals (q) choose among different alternatives (A_j) on the basis of their utility (U_{jq}). The modeller assumes that the utility can be represented as a sum of two components: first, a representative utility function (V_{jq}), measurable from attributes (x) of the individual, alternative or choice situation, weighted by coefficients (β); while the second is a random term (ε) for the difference between the representative and the real utility. It is represented according to the following expression:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} = \sum_k \beta_{jk} X_{jkq} + \varepsilon_{jq} \quad (1)$$

Domencich and McFadden [20] postulated that if errors have an identical and independent Gumbel distribution, the probability of an individual choosing a particular alternative (A_j) from the available choice sets (A_q) is given by the multinomial logit (MNL) model.

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta' V_{iq})}{\sum_{A_j \in A_q} \exp(\beta' V_{jq})} \quad (2)$$

The vector (β') cannot be estimated separately from the other parameters defined in the (V_{jq}) function, and for many purposes it can be assumed without loss of generality that the first coordinate of (β') takes value one. However, the MNL model has some limitations. It assumes the independence of irrelevant alternatives; it does not consider the order (where

relevant); random tastes (differences in β) cannot be represented; it assumes the utility functions of the alternatives are homoscedastic, and that all observations are independent. Interactions can be added to the MNL model in order to capture the influence of other socioeconomic variables (such as age, gender, income and others) on attributes. In all cases, if any of the limitations are not satisfied, the results of the MNL model may not be realistic.

The mixed logit (ML) model is an effective solution to overcome the restrictions of the MNL model. It allows the coefficients (β) to vary randomly across individuals (taste variations), and offers an efficient estimation when there are repeated observations. It can also deal with the correlation between alternatives and heteroscedasticity. One specification of the ML model must be considered: the error component logit (ECL).

The ECL model is similar to the MNL model in Eq. (1). However, this model includes an additional error term (η_{jq}) at the end of the formula, which can be distributed to achieve a closer model fit (see Eq. 3). We assumed this term to be normally distributed. The ECL model is well known for its modelling potential, while also offering a multinomial logit kernel, inter-alternative and inter-observation correlation of random terms.

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} = \sum_k \beta_{jk} X_{jkq} + \varepsilon_{jq} + \eta_{jq} \quad (3)$$

All these models are estimated using the simulated maximum likelihood method, which finds the parameter values that make the observed data most likely. These models (MNL and ECL) will be used with data obtained from a stated preference (SP) survey to analyse the impact of each attribute on the users' perception of transfers and the pure penalty transfer phenomenon.

2.3 Generating data for estimating transfer penalties in public transport

SP surveys are an essential tool for modelling utility functions (developing a Discrete Choice Model) to represent traveller decisions when facing different travel alternatives and policy measures. They present individuals with hypothetical choice situations and enable several responses for each one. However, SP data cannot be used in MNL models as each individual's responses to different choice situations are not independent [21].

Each design must take into consideration the real values of the attributes in the case study in order to present realistic choice situations. Attributes may vary under predefined values at different levels and again be consistent with reality. The latest software allows multiple types of surveys to be created with an orthogonal or an efficient design. In contrast to orthogonal designs, efficient designs are not intended to minimise the correlation of the data for estimation purposes, but to generate parameter estimates with the lowest possible standard errors [22]. These designs are especially interesting when the sample size is small, when they can provide a very efficient estimation. Efficient designs were not used until recently as they required an estimation of the prior parameter values [23]. These prior parameters are not easy to replicate (and in some cases even the sign is unknown), as the users' perception of attributes varies in each case study. However, this trend has now changed, mainly due to increased research containing information about these prior parameters. Efficient designs will therefore always outperform orthogonal designs [24] if there is any information available on the parameters.

Since prior parameter values substantially influence the final outcome, a pilot study is strongly recommended to obtain more accurate and precise prior parameters. Each design requires the introduction of the number of alternatives for each choice situation, the number of choice situations, prior parameters, the levels at which attributes may vary, and restrictions in the generation of certain variables. Prior parameters and levels may be modified to comply with the utility balance criterion [25]. This refers to the choice probabilities, which, if not balanced, would lead respondents to answer the same option systematically. The number of required respondents would also increase if the choices are not balanced. The software then iterates and indicates the required number of respondents (*S-estimate*) to ensure the sample significance [24].

3 Application to Madrid

Madrid is the capital of Spain and has a population of 3.5 million, a metropolitan area of 6 million inhabitants, and an area of 8030 km². About 12.93 million displacements take

place in its metropolitan area every working day, so it is crucial to ensure an efficient transport network in a city of this size.

PT in the central core of Madrid includes buses, metro, light rail, suburban train and a bicycle sharing system. The urban bus service covers the entire central core with over 200 lines, 3562 km in length, and some 1900 vehicles. The metro network also plays a key role in this area, with 13 lines and a total length of 287 km. This study focuses on the bus and metro systems, as they are the main urban modes of transport, and in combination account for almost 85% of total trips in the central core (2.6 million trips every working day). Our estimates show that approximately 56% of PT users make a single transfer, while 21% transfer more than once, highlighting the importance of optimising transfers to achieve an efficient and high-quality PT system.

3.1 Focus groups conducted in Madrid

The aim of the FGs is to identify the factors affecting users' perception of transfers in their multimodal trips. We conducted three FGs in Madrid: the first with university students, the second with middle-aged workers, and the third with retired people over 65. The decision to separate the respondents by age was due to the differences in the literature on the physical limitations of the elderly [19, 26, 27], which influence the perception of transfers.

A total of 20 people participated in the three FGs. A €10 gift voucher was offered as an incentive for participation in all cases. The FGs were conducted according to the recommended methodologies [27–29]. For detailed information on the process, see Cascajo et al. [5].

The results revealed several factors affecting users' perception of the transfer penalty. The most important –mentioned by over 50% of the participants in the FGs– are “time” (in its different components: walking time, waiting time, transfer time, and total travel time); real-time information; crowding; mode; and different levels in the transfer. Two factors emerged from the FGs that did not appear in the literature, related to the pure transfer penalty [5]: mental effort and activity disruption. Mental effort refers to the extra work required by passengers when making a transfer and the need to remain alert throughout the whole journey in order not to miss their transfer stop. Activity disruption concerns the utility of in-vehicle time, especially on longer trips when the time on-board can be used for activities such as reading, listening to music or even sleeping. Activity disruption is in some way related to mental effort; travellers must be aware of the stop where they need to get off, and can therefore not immerse themselves wholly in their chosen on-board activity, which must also be interrupted when alighting to make the transfer.

3.2 Perceived transfer utility in Madrid

The three FGs conducted in Madrid identified the following quantitative and qualitative variables warranting inclusion in the preliminary utility functions:

- Mode: takes value 1 if metro and 0 if bus.
- In-vehicle time: time (min) elapsed while a person is inside a mode of transport.
- Walking time: time (min) elapsed from the moment a traveller gets off a vehicle and walks to reach the next stop or station.
- Waiting time: time (min) elapsed from the instant a traveller arrives at a stop or station and waits until the next mode.
- Stairs: takes value 1 if there are stairs (or a difference in level) while transferring and 0 otherwise (it is always 0 in bus-bus transfers).
- Real-time information: takes value 1 if there are panels with dynamic time arrival for the intended trip as a whole and 0 otherwise.
- Crowding: takes value 1 if the transfer is overcrowded (involving walking and waiting stages) and 0 otherwise.

Utility functions also captured mental effort and activity disruption (pure penalty transfer) through their constants (α_1 and α_2), which refer not only to this phenomenon but to others not included in the functions. As both utility functions contain the most relevant variables related to transfers, constants will mainly capture the pure penalty transfer.

The first linear utility functions were based on these representative transfer variables. Utility functions had the structure of a MNL model. In our case study, we defined three utility functions depending on the number of transfers (T_0 –no transfers–, T_1 –one transfer– or T_2 –two transfers–). As a 21% of PT users transfer more than once, we decided to show these three alternatives, which is another point of interest of this research.

$$U(T_0) = \beta_{tveh00} \cdot tveh0 + \beta_{mode00} \cdot mode0 \quad (4)$$

$$U(T_1) = \alpha_1 + \beta_{tveh01} \cdot tveh0 + \beta_{mode01} \cdot mode0 + \beta_{twalk11} \cdot twalk1 + \beta_{twait11} \cdot twait1 + \beta_{stair11} \cdot stair1 + \beta_{tveh11} \cdot tveh1 + \beta_{mode11} \cdot mode1 + \beta_{info1} \cdot info + \beta_{crowd1} \cdot crowd \quad (5)$$

$$U(T_2) = \alpha_2 + \beta_{tveh02} \cdot tveh0 + \beta_{mode02} \cdot mode0 + \beta_{twalk12} \cdot twalk1 + \beta_{twait12} \cdot twait1 + \beta_{stair12} \cdot stair1 + \beta_{tveh12} \cdot tveh1 + \beta_{mode12} \cdot mode1 + \beta_{twalk22} \cdot twalk2 + \beta_{twait22} \cdot twait2 + \beta_{stair22} \cdot stair2 + \beta_{tveh22} \cdot tveh2 + \beta_{mode22} \cdot mode2 + \beta_{info2} \cdot info + \beta_{crowd2} \cdot crowd \quad (6)$$

It should be noted that cost is not included in the utility functions. About 73% of PT users in Madrid have a monthly or annual flat-rate travel card (in the commuter group this number is even higher). The remaining 27% use single or multiple tickets which allow transfers within the metro network at no extra cost (except in the case of metro-bus or bus-bus transfer). There is therefore no extra cost to transfer in most cases, and nor was this cost variable found to be significant in the FGs. Commuters assume cost as an unchanging variable when travelling on PT, regardless of the number of transfers. These predicted and preliminary utility functions serve as the basis for designing the SP survey (both the pilot and final versions).

3.3 Pilot survey design

The pilot test is one of the most important components of the survey procedure. A pilot survey is a useful fail-safe precaution to take before conducting the main survey [30]. The main benefits of pilot surveys from our point of view are the following: they test the survey structure and the validity of the experimental design; they allow the fieldwork to be refined; and they identify certain behaviours by the respondents.

The pilot survey was web-based. The questionnaire was broadly divided into three main parts: a) trip characteristics regarding current travel behaviour (RP data); b) SP choice scenarios; and c) socio-economic/personal information. Below we explain parts a) and c) in the RP and socioeconomic questions, and part b) in SP choice situations.

3.3.1 RP and socioeconomic questions

Aside from the SP part of the survey, in part a) we asked participants about the characteristics of their regular journey, including all the variables described, plus others. They were asked their occupation (as participants have to commute), trip purpose, type of ticket used, trip origin and destination, trip start time, number of transfers, and trip features such as total travel time, waiting and walking time, modes of transport used, in-vehicle time, whether passengers used mobile apps to see the waiting time for the next vehicle, existence of real time information panels during transfers, and whether they engage in any activity during the trip (listening to music, reading, studying, sleeping and others).

Part c) gathered socio-economic and personal information. The questions concerned gender, age, level of studies completed, household income and household size. There were also some questions about the importance and satisfaction with certain aspects related to transfers (real-time information and mobile network coverage during transfers, or sheltered stops and seats at transfer points). There was an open question at the end for noting additional comments.

3.3.2 SP choice situations

Both our pilot and final SP questions were designed using Ngene software based on a multi-criteria approach, which compares a number of alternatives in different choice situations on the basis of attributes obtained from the literature review and FGs. All the variables described and included in the predicted utility functions are used to design choice situations.

We opted to use an efficient design to estimate MNL models, which involved introducing the predicted utility functions. Although the desirable final output of the study is a ML model, and an efficient design can be applied to estimate random parameter models, we chose the MNL option as Ngene strongly recommends first generating a non-Bayesian design with this model [24]. This identifies any potential problems with the design specifications more quickly.

In the particular case of Madrid there are no previous studies calculating prior components, so they were all unknown. We obtained the average values and signs for each one, and the common levels of each attribute from the literature review. The prior parameter values were then slightly modified to ensure the utility balance criterion [25]. Table 2 shows the values of the first prior parameters and the levels of attributes considered.

Some restrictions were also applied to avoid Ngene generating unreal alternatives and failing to ensure the principle of utility balance. For example, total trip time in T_1 and T_2 should be less than 3 to 10 min compared to T_0 and T_1 , respectively.

After an iterative process, Ngene generated 18 choice situations (the number is a multiple of the levels of attributes) with three alternatives each (54 alternatives in total). Respondents took a long time to understand and choose between these choice situations, so there was a risk that the survey would be only half completed. To avoid this occurring, Ngene generated three blocks, each one of which would be completed by

a different respondent; so three respondents would complete a whole SP survey. Each participant therefore answered the block of choices that had generated the fewest responses at that particular time. This has the added advantage of making the answers less correlated between individuals than if only one respondent had completed the survey. On the other hand, more respondents are required to comply with the value of the *S-estimate*.

Figure 2 shows a screenshot of a choice situation. Total trip time, total walking time and total in-vehicle time are indicated for each alternative. This is because of comments made by the participants in the first test of the survey; they declined to add these times together so they could be considered as a whole.

The way choice situations were shown to participants depends on the habitual trip revealed in the RP questionnaire:

- If respondents did not usually transfer, they were given 6 simple choice situations between 0 and 1 transfer.
- If respondents usually transferred once or more, they were given 6 double choice situations between 0 and 1 transfer, and then between the same alternative of 1 and 2 transfers.

These rules produce more realistic data, as participants did not have to choose between unfamiliar scenarios. Finally, the minimum number of required surveys was established at 24.60, corresponding to the maximum value of the *S-estimate* parameter for all the attributes considered. The minimum number of individuals surveyed is obtained by multiplying the rounded-up *S-estimate* parameter and the number of blocks; i.e. 75 people were required in our case study.

3.4 Conducting the pilot survey

Once the survey had been designed, it was uploaded to a web page. It was decided to use a web-based format as this has

Fig. 2 Survey screenshot: choice situation between no-transfer and one-transfer route

some advantages over paper surveys. The main benefits of web-based surveys are [31]: they are cheaper than other survey setups; they reduce the time required for implementation; data from web-based surveys can easily be imported into data analysis programs; and the respondents can answer at their own convenience (some online surveys even allow respondents to start and then return to the question where they left off earlier).

Respondents were mainly recruited by handing out flyers with all the information required for the survey: website address, personal password for filling in the survey, information about the project and the option of entering a draw for a gift voucher if the survey was completed. The flyers were distributed at metro and bus stations during the morning peak commuter period (7–10 am) on five consecutive weekdays, seeking to obtain a representative sample. As indicated before, target participants were limited to commuters. Participation was voluntary. The answer ratio using this method was around 15%. A €200 gift voucher was offered as an incentive for participation.

Ten respondents completed the survey with personal assistance to test whether there were comprehension problems and whether the icons used in the SP part of the survey (see Fig. 2) could be understood.

The pilot survey involved 79 commuters, of whom 65% were workers and the remaining 35% were students. The average age was 31, and 56% were women. All respondents regularly commuted via PT and their average number of transfers was 0.72 (44% of respondents did not transfer). The average door-to-door trip time was about 35 min, and initial and final walking times were around 5 and 7 min respectively. 20% and 80% of participants chose the no-transfer and one-transfer options respectively in the SP choice situations. When they were asked to choose between making one or two transfers, 64% opted for the first option and the remaining 36% for the second.

3.5 Limitations of the survey

It should be noted that the number of respondents surveyed is sufficiently representative to obtain prior parameters, but small enough to gather meaningful results. However the main aim of this paper is to describe the methodology to conduct a successful SP experimental survey. The MNL model suggests some preliminary policy recommendations, which must be confirmed by the results of the final survey.

3.6 MNL model calibration

After conducting the pilot SP survey and cleaning up the data base, we used Limdep NLogit software to run the utility functions (Table 1). The results in Table 1 offer great potential for

analysing trends and providing preliminary policy recommendations, and for understanding users' perception of transfers.

All significant variables have the expected signs and values. Time-related variables (walking time, waiting time and in-vehicle time) are negative as expected, and almost all significantly. In order to estimate comparisons in equivalent in-vehicle times (IVT), we set an average value of 0.3576 and 0.3472 when making one and two transfers respectively. This shows that on average, in-vehicle times are perceived almost the same, regardless of whether one or two transfers are made. Walking and waiting times, however, are more poorly perceived on average in $U(T_2)$ than in $U(T_1)$ in this pilot study.

Constants in $U(T_1)$ and $U(T_2)$ are also significant, and explain all the unobserved variables not included in the model, and particularly the pure transfer penalty phenomenon. The constant in $U(T_2)$ is clearly higher than in $U(T_1)$, so the penalty perceived on trips increases with the number of transfers. The impact of the pure transfer penalty is perceived as 10.9 and 16.7 equivalent in-vehicle minutes when making one and two transfers respectively. Stairs also have a negative sign, but this result must be treated with caution as it is close to –but not significantly different from– zero at the 90% level.

It is worth noting the disutility produced by crowding scenarios, which is higher in the case of two transfers than only one. This variable, which implies a large number of people gathered together in a limited space, influences transfer perceptions, and is one of the most significant in utility functions after constants. Its impact is comparable to an increase of 2.9 min in equivalent IVT when making one transfer, and more than double when making two transfers (6.8 min equivalent IVT), highlighting its importance. Nor is mode significantly different from zero at the 95% level, which can be explained by the way the variable was introduced in the model. This can be resolved by expressing the variable mode using dummy variables indicating the absence or presence of transfers between bus-metro, metro-bus and metro-metro (assuming transfer between bus-bus as the reference group). In the next step of the research, we separate out the effects of the different modal transfer combinations in the ECL model when analysing the results of the final survey.

Utility functions indicated that the most severely penalised time varied between alternatives. If only one transfer was made, in-vehicle time produced the maximum disutility (greater than walking or waiting times). However, when transferring twice, walking time was more poorly perceived in the second transfer, followed by in-vehicle time in the second vehicle, and waiting times. These results can be compared to those of other studies. Navarrete and Ortúzar [8] reported that waiting time was the most severely penalised, followed by initial and final walking times. These variations highlight the differences between cities, as stated by Iseki and Taylor [4].

Finally, parameter values from Table 1 were introduced as new prior components to design the definitive survey.

Table 1 Results of the MNL models of utility functions. Pilot survey

Utility function	Attributes		Parameter value	p-value
U (T ₀): no-transfer	In-vehicle time	tveh0	-.3573	.0000*
	Mode	mode0	-.1547	.6389
U (T ₁): one transfer	Constant	constant1	-3.9160	.0053*
	In-vehicle time in first vehicle	tveh0	-.3705	.0001*
	First mode	mode0	.6236	.0961
	Walking time	twalk1	-.3407	.0010*
	Waiting time	twait1	-.3320	.0009*
	Difference in level	stair1	-.4515	.1113
	In-vehicle time in last vehicle	tveh1	-.3448	.0008*
	Last mode	mode1	.3647	.3869
	Real-time information	info	.1691	.6370
	Crowding	crowd	-1.0272	.0038*
	Constant	constant2	-5.7962	.0375*
U (T ₂): two transfers	In-vehicle time in first vehicle	tveh0	-.3255	.0264*
	First mode	mode0	-.0133	.9803
	Walking time in first transfer	twalk1	-.3570	.2880
	Waiting time in first transfer	twait1	-.4379	.0127*
	Difference in level in first transfer	stair1	-1.1385	.0277*
	In-vehicle time in second vehicle	tveh1	-.4372	.0006*
	Second mode	mode1	1.5490	.0059*
	Walking time in second transfer	twalk2	-.9148	.0044*
	Waiting time in second transfer	twait2	-.3712	.0662
	Difference in level in second transfer	stair2	-.7091	.1267
	In-vehicle time in last vehicle	tveh2	-.2790	.0153*
	Last mode	mode2	1.0633	.0605
	Real-time information	info	.3593	.3911
	Crowding	crowd	-2.3642	.0008*

*Significantly different from zero at the 95% level

4 Definitive redesign of the survey

The pilot survey enabled the definitive survey to be generated by applying an efficient design for estimating a random parameter model. However, this option was rejected in favour of optimising the design for the MNL model, assuming that this design is also efficient for estimating a ML model. Its behaviour was then verified under a ML model (using the `eval` command in Ngene software). This decision has a negligible influence on the survey design, as a ML model can subsequently be adopted for utility functions.

With the exception of the newly adopted prior parameters (Table 2), all other settings remained unchanged (number of alternatives, number of choice situations, number of blocks, attribute levels, and restrictions). It should be noted that if any of these settings were changed, another pilot survey would be required to obtain accurate prior parameters. The attributes also remained unchanged since they were identified in the focus group stage. If the final model estimates insignificant parameters (we obtained 11 in Table 1, which is high), then it

might be advisable to propose new attributes and change the number of alternatives and choice situations, attribute levels and restrictions in the SP part of the survey, and perform another pilot study. Ngene yielded a similar value for the *S-estimate* as in the pilot survey (25.43). This number must be multiplied by the number of blocks to obtain the minimum number of respondents (i.e. 78 respondents required). However, it is recommended to collect a higher number of answers in the final stage in order to gather meaningful results.

The results of Table 2 indicate that the prior parameters found in the literature for the disutility of times (walking, waiting and in-vehicle) do not differ substantially from those obtained by calibrating the predicted utility functions. However, the influence of other parameters such as stairs and mode on travellers' perception of transfers varies considerably between different case studies (although the signs of the parameters significant at the 90% level always match). As observed in Table 2, some prior parameters differ from the results of the MNL model (Table 1), as the parameters were not significantly different from zero at the 95% level. The

Table 2 Attribute levels considered and prior parameters (pilot and final surveys) as input of Ngene software

Utility function	Coefficients	Prior parameters		Attributes	Levels
		Pilot survey	Final survey		
U (T ₀): no-transfer	tveh00	−2.000	−.3573	tveh0	35, 40, 45
	mode00	1.0000	.5000*	mode0	0, 1
U (T ₁): one transfer	constant1	−1.0000	−3.9160	constant1	–
	tveh01	−2.000	−.3705	tveh0	9, 12, 15
	mode01	2.0000	.6236	mode0	0, 1
	twalk11	−2.500	−.3407	twalk1	2, 4, 6
	twait11	−2.000	−.3320	twait1	2, 5, 8
	stair11	−1.0000	−.7000*	stair1	0, 1
	tveh11	−2.000	−.3448	tveh1	9, 12, 15
	mode11	2.0000	.6000*	mode1	0, 1
	info1	2.0000	.7000*	info	0, 1
	crowd1	−2.0000	−1.0272	crowd	0, 1
U (T ₂): two transfers	constant2	−1.1000	−5.7962	constant2	–
	tveh02	−2.000	−.3255	tveh0	4, 7, 10
	mode02	1.1000	1.5000*	mode0	0, 1
	twalk12	−4.000	−.3570	twalk1	2, 3, 4
	twait12	−3.000	−.4379	twait1	1, 3, 5
	stair12	−1.0000	−1.1385	stair1	0, 1
	tveh12	−2.000	−.4372	tveh1	4, 7, 10
	mode12	1.1000	1.5490	mode1	0, 1
	twalk22	−4.000	−.9148	twalk2	2, 3, 4
	twait22	−3.000	−.3712	twait2	1, 3, 5
	stair22	−1.0000	−.7091	stair2	0, 1
	tveh22	−2.000	−.2790	tveh2	4, 7, 10
	mode22	1.1000	1.5000*	mode2	0, 1
	info2	1.1000	.7000*	info	0, 1
	crowd2	−1.1000	−2.3642	crowd	0, 1

*Prior parameters differ from the results of the MNL model as the parameters were not significantly different from zero at the 95% level

prior parameters associated to the non-significant parameters differ from the pilot survey due to the utility balance criterion [25]. As some prior parameters (those statistically significant in the MNL model), levels and number of choices, among others, are fixed, we could only change non-significant prior parameters to ensure that all choices provide a similar utility to the respondents. We sought to vary these parameters by complying with the utility balance criterion and using similar values to those found in the literature research.

Based on the feedback from the ten respondents who completed the survey in our presence, we changed some questions and visual items (real-time information and crowding) to avoid misunderstandings. The preliminary findings from the research in this area so far are of great interest, and will be further enhanced by the analysis of the results of the definitive survey, the adjusted ML model and a more accurate study of the pure transfer penalty, which is the goal of a future research work (see Fig. 1).

5 Discussion and conclusions

This research summarises the methodology used to design a SP experimental survey to estimate different utility functions based on the number of transfers in multimodal PT trips. The experiment was applied to commuters in Madrid. This research contributes to the existing literature by measuring the transfer penalties perceived by PT users when transferring twice. The results from the FGs and the MNL model suggest some preliminary policy recommendations. First, the FGs provide evidence of the importance of two variables included in the pure transfer penalty and not yet identified in the literature: mental effort and activity disruption. These variables are negatively perceived while transferring. This pure transfer penalty was captured by the constants in the utility functions, which were found to be significant and higher in the case of two transfers. This means that the more transfers made, the greater the associated penalty. This finding suggests a traveller would

prefer a non-transfer alternative to a single transfer, even in an ideal transfer in which walking and waiting times are equal to zero.

Similarly, the disutility produced by transferring is the same as if the walking or waiting times increase by ten minutes. Although walking and waiting times are known to negatively affect transfer utility, some measures can be implemented to increase transfer utility, such as offering real-time information, or providing services or activities to pass the time.

Crowding was found to be the most important variable in utility functions after constants. An overcrowded scenario is even worse when users transfer twice, as its effects on their transfer perception is double the effect of transferring once. It is therefore essential to optimise users' flows to avoid crowding.

The design of the definitive survey revealed the paramount importance of conducting a pilot survey. The main advantage of the pilot stage is that more accurate prior parameters can be obtained before designing the definitive survey. Otherwise, variables in the final model may be insignificant when in reality they are not. A pilot study allows the design's structure and validity to be tested, and the RP and SP parts of the survey to be debugged. It is also essential to personally assist a group of respondents to ensure they understand the choice scenarios. In our case, the definitive survey was enhanced by improving the visual design of the alternatives (we increased the visibility of some details such as real-time information and crowding) and the wording of some of the questions. Another lesson learned was the advisability of designing a survey based on a MNL model in Ngene, although the final model was intended to be a ML. This has a negligible effect on the survey design, but confers some advantages, including a decrease in the required computational time and resources, and ease of understanding. Prior parameters related to transfer times (walking, waiting and in-vehicle) are similar to those found in the literature, but this was not the case of the prior parameters associated to variables such as mode and stairs. Users therefore perceive certain attributes differently depending on their location. A pilot survey enables certain prior parameters to be refined and allows values to be obtained for the remaining parameters.

The final survey will shortly be conducted as part of our future research. The ECL model will be tested and the results will provide more accurate policy recommendations. The ML model will incorporate the variables included in utility functions, in addition to more variables from the RP part of the survey. Constants will therefore reflect the pure transfer penalty more accurately (as they capture all the remaining effects overlooked by the variables in the model). Efforts will focus on calibrating the final models and confirming the trends observed in the pilot survey. This later stage of the research will provide even greater insights and offer a better understanding of how travellers perceive transfers, which will

be of considerable interest for planning transfer modes and managing connecting PT services so as to improve the competitiveness of PT.

Acknowledgements The authors would like to thank the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and its State Program for Research, Development and Innovation oriented to Challenges in Society (TRANSFER Project; TRA2013-45239-R) for providing the necessary funding. The authors also acknowledge the collaboration of Elena Lopez and Luigi Dell'Olio who helped in the design of the pilot survey. This research was also possible thanks to the research grant awarded to the second author [BES-2014-069223].

Open Access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

References

1. Guo Z (2003) Assessment of the transfer penalty for transit trips in downtown Boston. A GIS-based Disaggregate Modeling Approach, Doctoral Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts
2. Horowitz AJ, Zlosel DJ (1981) Transfer penalties: another look at transit riders' reluctance to transfer. *Transportation* 10(3):279–282
3. Currie G (2005) The demand performance of bus rapid transit. *J Public Transport* 8:41–55
4. Iseki H, Taylor BD (2009) Not all transfers are created equal: towards a framework relating transfer connectivity to travel behaviour. *Transp Rev* 29:777–800
5. Cascajo R, Herrero F, Monzon A (2016) Identificación de las variables que afectan a la percepción de las transferencias en los viajes multietapa: focus groups en Madrid y Vitoria. TRANSyT Working Paper 2016-01-ES, Universidad Politécnica de Madrid. <http://www.transyt.upm.es/index.php/es/mnu-difusion/working-papers.html>. Accessed 7 Dec 2016
6. Roetting M, Yueng-Hsiang H, McDevitt J, Melton D (2003) When technology tells how you drive-truck drivers attitudes towards feedback by technology. *Transport Res F-Traf* 6:275–287
7. Douglas NJ, Jones M (2013) Estimating transfer penalties and standardised income values of time by stated preference survey. *Australian transport research forum*, pp. 1–21
8. Navarrete FJ (2010) Valoración Subjetiva del Transbordo en Transporte Público: caso Santiago de Chile. M.Sc. Thesis, Department of Transport Engineering and Logistics, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile
9. Schakenbos R (2014) Valuation of a transfer in a multimodal public transport trip. A stated preference research into the experienced disutility of a transfer between bus/tram/metro and train within the Netherlands. Master Thesis, University of Twente, Enschede
10. Cherchi E, Hensher DA (2015) Workshop synthesis: stated preference surveys and experimental design, an audit of the journey so far and future research perspectives. *Transport Res Proc* 11:154–164
11. Bates J (1988) Econometric issues in stated preference analysis. *J Transp Econ Policy* 22(1):59–69
12. Hensher DA (1994) Stated preference analysis of travel choices: the state of practice. *Transportation* 21(2):107–133
13. Bradley MA, Daly AJ (1997) Estimation of logit choice models using mixed stated preference and revealed preference information.

- Proceedings of Sixth International Conference on Travel Behaviour, Quebec 1:117–133
14. Chowdhury S, Ceder A, Sachdeva R (2014) The effects of planned and unplanned transfers on public transport users' perception of transfer routes. *Transport Plan Tech* 37(2):154–168
 15. Espino R, Martín JC, Román C (2007) Análisis de la calidad del transporte de pasajeros. Un estudio de la disposición a pagar por no trasbordar. *X Encuentro de Economía Aplicada, Logroño*
 16. Chowdhury S, Ceder A, Schwalger B (2015) The effects of travel time and cost savings on commuters' decision to travel on public transport routes involving transfers. *J Transp Geogr* 43:151–159
 17. Currie G, Loader C (2010) Bus network planning for transfers and the network effect in Melbourne, Australia. *Transp Res Rec* 2145: 8–17
 18. Clifton KJ, Handy SL (2003) Qualitative methods in travel behaviour research. In: Stopher P, Jones P (eds) *Transport Survey Quality and Innovation*, Pergamon, pp 283–302
 19. Navarrete FJ (2010) Valoración Subjetiva del Transbordo en Transporte Público: caso Santiago de Chile. M.Sc. Thesis, Department of Transport Engineering and Logistics, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile
 20. Domencich T, McFadden D (1975) Urban travel demand: a Behavioural analysis. North-Holland, Amsterdam
 21. Ortúzar JD, Roncagliolo DA, Velarde UC (2000) Interactions and independence in stated preference modelling. In: *Stated preference Modelling techniques, perspectives 4*, PTRC, London
 22. Rose JM, Bliemer MCJ (2009) Constructing efficient stated choice experimental designs. *Transp Rev* 29(5):587–617
 23. Bradley M (2009) Important stated preference experimental design issues in recent transportation applications. *Transp Rev* 29(5):657–663
 24. ChoiceMetrics (2014) Ngene 1.1.2 User Manual & Reference Guide, Sydney, Australia
 25. Huber J, Zwerina K (1996) The importance of utility balance in efficient choice designs. *J Mar Res* 33:307–317
 26. Kitzinger J (1995) Qualitative research. Introducing focus groups. *Brit Med J* 311(7000):299–302
 27. Morgan DL (1996) Focus groups. *Annu Rev Sociol* 22:129–152
 28. Krueger RA, Casey MA (2014) Focus groups: a practical guide for applied research. SAGE Publications, Los Angeles
 29. Tracy SJ (2010) Qualitative quality: eight «big-tent» criteria for excellent qualitative research. *Qual Inq* 16(10):837–851
 30. Richardson AJ, Ampt ES, Meyburg AH (1995) Survey methods for transport planning. Eucalyptus Press, Melbourne
 31. Evans JR, Mathur A (2005) The value of online surveys. *Internet Res* 15(2):195–219

Contents lists available at ScienceDirect

Transportation Research Part A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/tra

Transfer penalties in multimodal public transport networks

Andres Garcia-Martinez^{a,*}, Rocio Cascajo^a, Sergio R. Jara-Diaz^b, Subeh Chowdhury^c, Andres Monzon^d^a Transport Research Centre, TRANSyT, Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Aranguren, 3. ETSI Caminos, Canales y Puertos, Ciudad Universitaria, Madrid 28040, Spain^b Universidad de Chile, Casilla 228-3, Santiago, Chile^c Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Auckland. Private Bag 92019, Auckland 1142, New Zealand^d Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Aranguren, 3. ETSI Caminos, Canales y Puertos, Ciudad Universitaria, Madrid 28040, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Pure transfer penalty
Urban public transport
Stated preference survey
ECL model
Commuter behaviour

ABSTRACT

The disutility of transfers in multimodal public transport goes beyond the additional walking and waiting times. Although the magnitude of this pure transfer penalty has been proven to be an essential element in the structural design of public transport lines, the scarce available research reveals a wide range of values. The aim of this paper is to develop and apply a framework to estimate the value perceived and assigned by commuters to this penalty. This framework includes all the other elements considered by users in the case of a trip involving (potential) transfers, in order to obtain the impact of each one. The framework is based on the discrete choices paradigm and applied to data collected in Madrid, Spain. The results show that the pure transfer penalty is comparable to a 15.2–17.7 equivalent increase in in-vehicle minutes; i.e. longer trips may be preferred to faster alternatives with transfers, even if the additional walking and waiting times are zero. As well as the pure transfer penalty, the model also captures the effects of habit, crowding, walking, waiting and in-vehicle times, information, and the additional effect of intermodality on transfers.

1. Introduction

Continuing a recent upward trend, in 2014, 46% of the population of OECD countries lived in urban areas (OECD, 2016), due to the environmental conditions, economic opportunities and the availability of services. The business, cultural, communication, mobility and everyday requirements of city residents will therefore continue to rise and affect urban travel demand. 64% of total trip-kilometres in 2014 were made in urban environments, and this figure is expected to triple by 2050 (Van Audenhove et al., 2014), resulting in higher emissions, traffic congestion, overloaded infrastructures, scarcity of parking places, higher public transport (PT) demand and urban sprawl, among others.

Transport networks in general and PT networks in particular must be optimised and well-designed to respond to increasingly complex travel patterns in urban areas. The attractiveness of the PT network compared to the car can be increased by reducing barriers to transfers (Nielsen and Lange, 2007). Unimodal and multi-modal PT networks generally involve transfers, points where PT lines intersect within the design of a PT network and where users have to –or choose to– move from one vehicle to another. Hub-and-spoke or feeder-trunk systems impose transfers on a subset of users while direct services do not (Fielbaum et al., 2016). Existing transfer points induce a sub-problem in the design of bus or tram stops and subway or train stations, as many PT users need to transfer

* Corresponding author.

E-mail address: andres.garciam@upm.es (A. Garcia-Martinez).<https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.016>

between different modes to complete their daily trips (Jang, 2003; Hernandez et al., 2016). At a higher level, the design of PT networks requires the study of the spatial arrangement of PT lines to decide *a priori* if transfers are in fact optimal. A current priority in the field of urban mobility is to reduce users' perceived disutility while transferring in order to increase ridership (European Commission, 2013). We believe that the need to transfer itself should also be subjected to scrutiny.

The main aim of this paper is to develop and apply a framework to estimate the penalty perceived by commuters when making transfers in multimodal urban trips. The framework is designed to control for all other elements considered by the users when a trip involves (potential) transfers, to obtain the impact of each one (walking, waiting, in-vehicle time). The relevance of the number of transfers required on a trip is also examined based on the discrete choices paradigm, and applied to data collected in Madrid, Spain. The remainder of this section describes previous efforts to capture the perception of transfers in general.

Several authors have investigated the perception of transfers between different modes of transport and the importance of optimising transfer time for multimodal trips (e.g. Ceder et al., 2013a; or Guo and Wilson, 2011), while other studies have analysed the users' perceptions of transfers from different perspectives (e.g. Cheng and Tseng, 2016; Chowdhury et al., 2014; Guo, 2003; Horowitz and Zlosel, 1981; Navarrete and Ortuzar, 2013). The transfer disutility –known as the transfer penalty– has three different elements: waiting time, walking time from one vehicle to another, and the inconvenience of the transfer itself, which is also known as 'the pure transfer penalty'. Although most studies propose policy measures to reduce the disutility perceived by users when transferring, the third component is impossible to avoid.

Even in an ideal transfer in which walking and waiting times were equal to zero, users would perceive a pure transfer penalty related to factors like the availability of adequate information, safety, security, comfort and convenience, familiarity with the PT system, and frequency of PT use (Currie, 2005; Iseki and Taylor, 2009; Douglas and Jones, 2013). It should be noted that these studies address transfer penalties by focusing on only one transfer; perceptions can be assumed to be different for each transfer depending on its location and number in a complete journey. McCord et al. (2006) and Cheng (2010) stated that reliability issues, lack of information about connections and personal safety while transferring in PT services contributed to anxiety in PT users. The presence of an anxiety factor has recently been reinforced by the results of Cascajo et al. (2016) using focus groups, who found that individuals consider two elements when assessing a transfer within a trip: mental effort and activity disruption.

It is still not clear how far the pure transfer penalty affects the users' choice of different alternatives, some of which involve transfers. Gschwender et al. (2016) and Fielbaum et al. (2016) established that the consideration of a pure transfer penalty is a key element when designing the structure of PT lines in a city: *"Although several parameters play an important role, the value of the transfer penalty is particularly relevant. This makes the empirical study of transfer perception a key element in the immediate agenda of public transport design"* (Fielbaum et al., 2016, page 309). It is evident from such findings that transport planners should consider the value of the pure transfer penalty when designing a PT system, noting that some commuters even choose not to travel by PT if the trip involves a transfer.

The present study aims to achieve its objective by defining the following research questions:

- How does the pure transfer penalty influence users' choice of different alternatives involving transfers?
- How do PT users perceive each component of a transfer when making transfers in a multimodal urban trip?
- Are there significant differences in the perception of transfer penalties when making one and two transfers?

This paper is organised as follows. Section 2 shows the theory applied to model transfers in PT. Section 3 presents the case study, the modelling of utility functions, and the survey design and deployment. Section 4 describes the calibration of the Error Component Logit (ECL) model. Section 5 contains the analysis of the results, and finally Section 6 provides some recommendations for transport managers and the main conclusions of the study.

2. Modelling transfers in public transport

2.1. The analytical framework

The essence of our model lies in the formulation of a generic utility specification capable of representing alternatives that differ in (a) the number of transfers; (b) the modes used in each segment of the trip; (c) the characteristics of the transfer site; and (d) the trip conditions. For our purposes it is particularly relevant to capture what we call the pure transfer penalty, and the variable that does this is precisely the number of transfers. This pure effect is incorporated by defining constants associated to each transfer (if any), so it captures this effect for the first and second transfer, which not only allows us to find the values but to test whether the effect changes with quantity. It should be noted that it includes other factors that can influence choice, some of which are unknown to us; however, if they are present in all the alternatives, they will not affect the difference between constants, which can be interpreted as the relative perception of the pure transfer penalty. This approach assumes that the utility function is well suited to capturing the mental effort associated to an activity disruption (related to the pure transfer penalty) through constants. The generic utility specification is:

$$U(T_j) = \alpha_j + \sum_k \beta_{kj} x_{kj} \quad (1)$$

where $U(T_j)$ represents the utility associated to the number of transfers (j); (β) are the coefficients weighting the attributes (x) of the individual's alternative or choice situation in the (k) spectrum; and (α) is a constant which captures other factors unknown to us: the pure transfer penalty.

In order to estimate the systematic component of utility in Eq. (1) we will use the discrete choices paradigm within the random utility theory. As is well known, this corresponds to a conditional indirect utility function that contains the variables describing the alternatives that are assumed to influence choice (Jara-Diaz, 2007). For synthesis, the random utility theory postulates that individuals (q) choose among different alternatives (A_j) on the basis of their utility (U_{jq}). The modeller assumes that the utility can be measured as a sum of two components: first, a representative utility function (V_{jq}) that can be measured from attributes (x) of the individual's alternative or choice situation, weighted by coefficients (β); the second is a random term (ε) representing the difference between the systematic component and the real utility. This is shown in Eq. (2):

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} = \sum_k \beta_{jk} X_{jkq} + \varepsilon_{jq} \quad (2)$$

Errors are assumed to have a zero mean. If they are distributed identically and independently (IID) Gumbel, the probability that an individual chooses a particular alternative (A_j) from the available choice sets (A_q) is given by the Multinomial Logit (MNL) model as shown in Eq. (3) (Domencich and McFadden, 1975).

$$P_{jq} = \frac{\exp(\mu V_{jq})}{\sum_{A_j \in A_q} \exp(\mu V_{jq})} \quad (3)$$

where μ is a non-identifiable scale factor that must be normalised. The factor is related to the standard deviation of errors, and is usually set at one, assuming that the explanatory variables are accurate. However, the MNL model has some limitations: (a) it assumes the independence of irrelevant alternatives; (b) it does not consider the order (where relevant); (c) random preferences cannot be represented; (d) it assumes the utility functions of the alternatives are homoscedastic; and finally, (e) it assumes that all observations are independent. As we will now see, some of these assumptions do not hold when dealing with transfers in the way we consider appropriate.

Stated Preference experiments are a powerful tool for considering alternatives that do not currently exist. This allows participants to face hypothetical alternatives with a similar attraction and form a set of different choice situations, which is why we chose this method to obtain and create the database. This implies that observations will be dependent, as each participant is given many choice situations, which clearly erodes assumptions (a) and (e) of the MNL model. We therefore decided to move towards the ECL model in the Mixed Logit family to allow correlation between each participant's responses and the dependency between alternatives, correcting for potential heteroscedasticity.

The ECL model is similar to the MNL in Eq. (2) except that it adds an additional error term (η_{jq}) which does not fulfil the properties of ε and can be distributed as the modeller sees fit (Eq. (4)). The ECL is well known for its modelling potential, offering a multinomial logit kernel and inter-alternative and inter-observation correlation of random terms (Ortuzar and Willumsen, 2011). It is estimated using the simulated maximum likelihood method, which finds the coefficients that make the observed data most likely to explain the model accurately.

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} + \eta_{jq} = \sum_k \beta_{jk} X_{jkq} + \varepsilon_{jq} + \eta_{jq} \quad (4)$$

Errors (η_{jq}) are usually assumed to be normally distributed and allow for a correct treatment of the correlation between the participants' responses.

2.2. Generating data to capture the effects of transfers in public transport

In terms of data, Bradley and Daly (1997) highlight the desirability of combining the strongest features of revealed preferences (RP) and stated preferences (SP) designs. This is why in the general case of transfers, many researchers have assessed the penalties associated with their different components by designing surveys containing both RP and SP (Chowdhury et al., 2014; Douglas and Jones, 2013; Espino et al., 2007; Navarrete and Ortuzar, 2013; Schakenbos, 2014). The use of SP surveys has become common in a wide range of fields such as marketing, transport, health economics, and agricultural and environmental economics (Cherchi and Hensher, 2015), and can elicit responses regarding the behaviour of a single individual or group in order to estimate and identify their preferences.

SP methods have been widely used in the transport field since the 1980 s (Bates, 1988; Bradley and Daly, 1997; Chowdhury et al., 2014; Chowdhury et al., 2015; Douglas and Jones, 2013; Hensher, 1994; Navarrete and Ortuzar, 2013; Schakenbos, 2014), and can be effectively applied to estimate transfer penalties as they measure perceptions and attitudes. As antecedents, Douglas and Jones (2013) describe a SP survey designed to test the difference between 'same platform' and 'up and down' transfers involving escalators or elevators, as well as bus-to-bus and bus/rail transfers, using pair-wise choices presented on electronic tablets. Navarrete and Ortuzar (2013) investigated users' subjective valuations of the transfer experience and the influences of certain variables on transferring between PT modes. Their analysis comprised a qualitative study based on focus groups, a quantitative study consisting of an SP experiment, and the estimation of advanced discrete choice models. Finally, Schakenbos (2014) used an SP design to determine the disutility of a transfer between bus/tram/metro and train to estimate a general mixed logit ECL. The results provide insights into the importance of the different attributes, which are expressed in generalized travel time. Recently, Frei et al. (2017) included the possibility of two transfers in a study of a "hypothetical flexible transit mode" competing with the car, using SP but not controlling for other factors such as crowding, real-time information and so on. The research questions posed in the Introduction are therefore still highly relevant.

3. Case study

3.1. City characteristics

The proposed framework was applied to PT users in the inner core of Madrid, the capital of Spain, which has a population of 3.2 million and a density of 5232 inhabitants per km². The city of Madrid registers a total of 4 million trips, 69% of which are by bus, metro, light rail and suburban train (CRTM, 2005). The urban bus service is 3562 km in length, has over 200 lines, and around 1900 vehicles (MMO, 2016). The metro network also plays a key role in the city, with 13 lines covering a total length of 287 km. This study focuses on the bus and metro systems, as they are the main urban transport modes in the central core and account for 85% of the total PT trips every working day (CRTM, 2005). Our estimates indicate that approximately 56% of inner circle commuters make a single transfer, while 21% transfer more than once, highlighting the importance of optimising transfers to achieve an efficient and high-quality system.

3.2. Preliminary methodological background

According to Iseki and Taylor (2009), transfer penalties vary between cities, so city-specific studies require a more accurate identification of the variables. Before conducting the RP and SP survey, we identified the most relevant variables potentially affecting the perception of transfers in Madrid by combining a generic literature review with three specific focus groups (see Cascajo et al., 2016). The variables obtained and their corresponding measures are the following:

- Mode: 1 if metro, 0 if bus.
- In-vehicle time: time (min) elapsed while a person is inside a vehicle.
- Walking time: time (min) elapsed from the moment a traveller alights from a vehicle and walks to the next stop or station.
- Waiting time: time (min) elapsed at a stop/station awaiting the arrival of the next vehicle.
- Stairs: takes value 1 if there are stairs (or a difference in level) while transferring and 0 otherwise (it is always 0 in bus-bus transfers).
- Real-time information: takes value 1 if there are panels with dynamic time arrival for the entire intended trip and 0 otherwise.
- Crowding: takes value 1 if the transfer is overcrowded (involving walking and waiting stages) and 0 otherwise.

Cost was not considered a relevant variable for transfers in the focus groups, as 73% of PT users in Madrid have a flat-rate monthly or annual travel card (higher in the commuter group), and the remaining users travel with a 10-journey pass (18%) which offers a discount of up to 40% off each single ticket; only 9% use single tickets. There is no extra cost for metro-metro transfers (only bus-metro or bus-bus). The vast majority of commuters therefore assume the cost as an unchanging variable when travelling on PT, regardless of the number of transfers. Although this prevents the calculation of willingness-to-pay, the key question is the equivalence between the perception of transfers and the minutes spent in-vehicle while travelling. This equivalent in-vehicle minutes (EIVM) is the usual way of reporting and using the disutility of transfers in the literature (e.g. Fielbaum et al., 2016), and can be calculated in our specification.

Based on the discussion above, the generic formulation in Eq. (1) was specified as three equations including the variables. Eqs. (5)–(7), shown below, refer to alternatives with zero, one or two transfers respectively. In our particular case (i) varies from zero to two. Our estimates show that only 3% of commuters transfer more than twice in Madrid in their daily trips. (α_i) is equal to zero when there is no transfer. It should be noted that other constant attributes which take the same value in each alternative (i.e. real-time information, stairs, and crowding) cannot be present in all utility functions, as we need a reference case to estimate relative differences.

$$U(T_0) = \beta_{veh00} \cdot tveh0 + \beta_{mode00} \cdot mode0 + \eta_0 \quad (5)$$

$$U(T_1) = \alpha_1 + \beta_{veh01} \cdot tveh0 + \beta_{mode01} \cdot mode0 + \beta_{twalk11} \cdot twalk1 + \beta_{twait11} \cdot twait1 + \beta_{stair11} \cdot stair1 + \beta_{veh11} \cdot tveh1 + \beta_{mode11} \cdot mode1 + \beta_{info1} \cdot info + \beta_{crowd1} \cdot crowd + \eta_1 \quad (6)$$

$$U(T_2) = \alpha_2 + \beta_{veh02} \cdot tveh0 + \beta_{mode02} \cdot mode0 + \beta_{twalk12} \cdot twalk1 + \beta_{twait12} \cdot twait1 + \beta_{stair12} \cdot stair1 + \beta_{veh12} \cdot tveh1 + \beta_{mode12} \cdot mode1 + \beta_{twalk22} \cdot twalk2 + \beta_{twait22} \cdot twait2 + \beta_{stair22} \cdot stair2 + \beta_{veh22} \cdot tveh2 + \beta_{mode22} \cdot mode2 + \beta_{info2} \cdot info + \beta_{crowd2} \cdot crowd + \eta_2 \quad (7)$$

A pilot survey with an efficient design was then created using Ngene, a software whose inputs are the variables identified, plus prior parameters and balanced levels drawn from the literature (proposed utility functions for Ngene). Finally, the pilot survey was conducted and an MNL model was calibrated to obtain improved prior parameters using the Limdep NLogit software, before designing the final survey to be given to the participants. Fig. 1 shows the procedure (described in detail in Cascajo et al., 2017) that feeds the model estimation described in the bottom-left corner.

3.3. Survey design

This study combines RP and SP designs to measure users' perception of transfers, and to address the pure transfer penalty phenomenon. The survey provides both the RP data on current travel behaviour and the SP data on route choices under scenarios

Fig. 1. Methodological chart.

with different types and number of transfers. In line with other researchers (Chowdhury et al., 2015; Navarrete and Ortuzar, 2013), the survey was restricted to commuters due to their higher transfer rates and their ability to imagine hypothetical scenarios (Currie and Loader, 2010). It was divided into three main parts: (A) trip characteristics based on current travel behaviour (RP data); (B) SP choice scenarios; (C) socio-economic/personal information.

Participants were first asked about the characteristics of their daily commute, including all the variables described in Section 3.2 and others (Part A). They were questioned about their occupation, trip purpose, type of ticket purchased, trip origin and destination, trip start time, number of transfers currently made, and other aspects of the trip such as total travel time, waiting and walking time, modes of transport used, in-vehicle time, whether they used mobile apps to see the waiting time for the next vehicle, existence of real time information panels during transfers, and whether they engage in any activity during the trip (listening to music, reading, studying, sleeping and others).

Part C gathered socio-economic and personal information. The questions included gender, age, educational level, household income and household size. There were also some questions about the importance of and satisfaction with certain aspects of transfers (real-time information and mobile network coverage during transfers, or sheltered stops and seating at transfer points). There was an open-ended question for participants to include additional comments.

In Part B, the SP questions must take into consideration the real values of the attributes in the case study in order to present realistic choice situations. Attributes may vary under predefined values at different levels. The questions were designed using Ngene software based on a multi-criteria approach, which compares a number of alternatives in different choice situations on the basis of utility functions.

The final survey was developed based on the pilot survey (see Cascajo et al., 2017) by applying an efficient design, which outperforms orthogonal designs when there is *a priori* information available on the parameters (priors) in cases where this information is correct or similarly stated to be of good quality (ChoiceMetrics, 2014; Rose et al., 2008; Rose and Bliemer, 2009). The pilot survey enabled by applying an efficient design for estimating an ECL. As shown in Fig. 1, this was done by optimising the design for a MNL model and evaluating its behaviour using the; *eval* command in Ngene software to verify its suitability for estimating a

Table 1
Prior parameters and possible levels of attributes considered as input of Ngene software.

Utility function	Coefficients	Prior parameters	Attributes	Levels
U (T ₀): no transfer	mode00	0.5000 [*]	Mode	0, 1
	tveh00	−0.3573	In-vehicle time	35, 40, 45
	constant1	−3.9160	Constant	–
U (T ₁): one transfer	mode01	0.6236	First mode	0, 1
	mode11	0.6000 [*]	Last mode	0, 1
	tveh01	−0.3705	In-vehicle time in first vehicle	9, 12, 15
	tveh11	−0.3448	In-vehicle time in last vehicle	9, 12, 15
	twalk11	−0.3407	Walking time	2, 4, 6
	twait11	−0.3320	Waiting time	2, 5, 8
	stair11	−0.7000 [*]	Difference in level	0, 1
	info1	0.7000 [*]	Real-time information	0, 1
	crowd1	−1.0272	Crowding	0, 1
	constant2	−5.7962	Constant	–
	mode02	1.5000 [*]	First mode	0, 1
	mode12	1.5490	Second mode	0, 1
U (T ₂): two transfers	mode22	1.5000 [*]	Last mode	0, 1
	tveh02	−0.3255	In-vehicle time in first vehicle	4, 7, 10
	tveh12	−0.4372	In-vehicle time in second vehicle	4, 7, 10
	tveh22	−0.2790	In-vehicle time in last vehicle	4, 7, 10
	twalk12	−0.3570	Walking time in first transfer	2, 3, 4
	twalk22	−0.9148	Walking time in second transfer	2, 3, 4
	twait12	−0.4379	Waiting time in first transfer	1, 3, 5
	twait22	−0.3712	Waiting time in second transfer	1, 3, 5
	stair12	−1.1385	Difference in level in first transfer	0, 1
	stair22	−0.7091	Difference in level in second transfer	0, 1
	info2	0.7000 [*]	Real-time information	0, 1
	crowd2	−2.3642	Crowding	0, 1

* Parameters not significantly different from zero at the 95% level from the pilot survey, which were adequately modified to comply with the utility balance criterion.

model of the mixed logit family (ECL in our case). As explained, prior parameters were obtained from a model estimated using the pilot survey. Seven non-significant parameters were adequately modified to comply with the utility balance criterion (Huber and Zwerina, 1996). The resulting priors are shown in Table 1.

After an iterative process Ngene generated 18 choice situations (the number is a multiple of the attribute levels) with three alternatives in each choice (54 alternative options in total). Respondents may take a long time to understand and choose between these choice situations, posing a risk that the survey would be only partially completed. We decided to generate three blocks so that each one could be completed by a different respondent (i.e. the whole SP survey would be completed by three respondents). Each participant answered the block of choices with the fewest number of responses at that particular time, making the answers less correlated between individuals than if only one respondent had completed the survey. However, more respondents are required to comply with the value of the S-estimate. Ngene yielded a value of 25.43 for the S-estimate, which must then be multiplied by the number of blocks to obtain the minimum number of respondents to ensure significance (i.e. 78 respondents are required). It was decided to generate three blocks to exclude the impact of fatigue. Bradley and Daly (1994) recommended not showing more than ten or so choice situations (20 scenarios) per respondent, and in our experiment the respondents who transferred on their daily trips were facing 18 scenarios.

Fig. 2 shows one of the choice sets. It should be noted that the total trip time in the choice with most transfers is always lower than in the alternative option, to comply with the utility balance criterion (Huber and Zwerina, 1996), otherwise almost all the respondents would select the option with the fewest transfers. Total trip time, total walking time and total in-vehicle time are indicated for each choice. The participants were shown a different combination of choices depending on their daily commute, as described in the RP part of the survey. To be more precise:

- if respondents did not usually transfer, they were given 6 simple choice situations and could choose either 0 or 1 transfer.
- if respondents usually transferred once or more, they were given 12 choice situations: 6 choice situations where they could choose either 0 or 1 transfer, and then another 6 to choose either the same alternative with 1 transfer or another with 2 transfers.

The average values and standard deviation of the attributes in the three alternatives of the SP experiment are shown in Appendix A.

3.4. Survey implementation

Once the final survey was designed, it was uploaded to a web page. It was decided to use a web-based format as this has some advantages over paper surveys (Evans and Mathur, 2005). Its potential benefits are: reduced costs of time and money (Cobanoglu

Fig. 2. Survey screenshot: choice situation between no-transfer and one-transfer route.

et al., 2001), speed of delivery and response (Yun and Trumbo 2000), ease of data cleaning and analysis, quick troubleshooting; more complexity can be added (conditional questions can be presented if required, questions can be ordered randomly, etc.); automated data collection; scoring; reporting; access to larger samples (Birnbbaum, 2004); less effort by respondents to complete and return than mail surveys (Vicente and Reis, 2010); and absence of interviewer bias (Sills and Song, 2002). However web-based surveys also involve potential bias and limitations due to incomplete or unacceptable responses, lack of online experience/expertise by the respondents, non-response rate, multiple submissions, unclear instructions on how to answer, impersonal, possibility that an unintended person will reply, and data security and integrity (Evans and Mathur, 2005). However web-based surveys have more advantages than disadvantages (Converse et al., 2008; Kaplan et al., 2012; Roztocki and Morgan, 2002; Vingilis et al., 2013).

Respondents were recruited by handing out flyers with a personal access code and all the information required to enter the survey: website address, personal password for completing the survey, information about the project and the option of entering a draw for a gift voucher if the survey was completed. Flyers were distributed (2400 in total) at nine metro stations with two or more lines, and at bus stops in the surrounding area during the morning peak period (7–10 am) for five consecutive weekdays in April 2016 and another five in May 2016. Participation was voluntary. The response rate was around 15%. A €200 gift voucher was offered as an incentive for participation. However, we had problems composing the sample with adult groups. Younger groups had a higher response rate, so we had to conduct two waves in the final survey (the second focused on adult groups) to meet the sample requirements. This survey method resolves some of the disadvantages of web-based survey designs, namely multiple submissions and the non-response rate. Errors and illegible responses could easily be discarded subsequently, and duplicated responses and incomplete surveys could also be monitored. We received 295 valid answers, and we finally selected a random subsample from each location to ensure the representativeness of the target group population (commuters). We avoided the use of sample weights as they can cause problems in the final model when estimating causal effects. Several authors have studied sample weights in models and reported no conclusive results regarding the use of weights or not (Pfefferman, 1993; Schouten et al., 2009; Solon et al., 2013).

The final analysis involved 260 commuters using PT, more than the 78 required as calculated in the previous section: 95% workers and 5% students. The average age was 41 and 60% were women, which reproduces the overall figures for Madrid's commuters according to *Censo 2011* (INE, 2017). All the respondents regularly commuted via PT and their average number of transfers was 1.02 (23% of the respondents did not transfer). The average door-to-door trip time was approximately 39 min, and access and egress times were around 6 and 7 min respectively. Almost 35% of trips had a duration of over 30 min, and only 5% of trips were under 20 min. 10% of respondents said they spent over one hour on their daily trips. 2% of participants habitually commuted with a single ticket, 0.7% travelled with children, while 30% said they used an app to check the time until the next vehicle arrives. 67.6% and 32.4% of participants chose the no-transfer and one-transfer options respectively in the SP choice situations. When asked to

choose between making one or two transfers, 68.6% opted for the first option and the remaining 31.4% for the second.

4. Error Component Logit model calibration

The model in this study was developed with two objectives: to be predictive and explanatory. Most models are designed either to achieve (1) the best predictive model, or (2) an explanatory model. For (1) many methods use stepwise variable selection, and (2) requires the consideration of all possible models and variables (Mac Nally, 2000). For this study, the model is calibrated to be predictive, but we also used the outcomes of the process to infer the causal influence of all variables on the intention to transfer. Errors were assumed to be normally distributed. The objective when calibrating the model was to achieve the best value for the log likelihood function and to minimise problems of multicollinearity (i.e. the effect somehow captured by covariances in large parameters).

The ECL model was estimated using Limdep NLogit 4.0, based on the utility functions defined in Eqs. (5)(7). We then included all the other variables from the RP questions to estimate preference variations (i.e. interactions between attributes and socioeconomic variables), and defined new variables from the existing ones. The specification of the variables included in the final model is (see Appendix A for all variables and interactions considered and dismissed as non-significant):

- Intermodality: takes value of 1 if the transfer is metro-bus or bus-metro, and 0 if metro-metro or bus-bus.
- Number of transfers: number of transfers currently made by respondents in their habitual trips.
- Gender: equal to 1 for women and 0 for men.
- Young: takes value of 1 for ages between 15 and 24 and 0 otherwise.
- Reading: is equal to 1 if respondents usually read while travelling and 0 otherwise.

To verify the potential influence of the attributes of each participant's daily commute on their answers to the SP questionnaire, we penalised any alternatives with longer than observed travel time components. Eight variables were defined to represent these differences in time, of which only two were significant (see Table 2). They were calculated as follows (where i) could be total trip, walking, waiting and in-vehicle times, (p) if the difference between the time shown in the SP question and their current daily commute time is positive and (n) if negative):

$$habit_{ip} = (time SP_i - time RP_i); \text{if } time SP_i > time RP_i \quad (8)$$

$$habit_{in} = |(time SP_i - time RP_i)|; \text{if } time SP_i < time RP_i \quad (9)$$

Finally, all significant variables and interactions were included in the final ECL model (Table 2). We also considered non-significant variables for a better understanding of the transfer perception (for example, variables that are non-significant in $U(T_1)$ but significant in $U(T_2)$), in the case they do not cause multicollinearity problems. All significant variables have the expected signs and values. The ECL model (with a log likelihood value of -1474.041) is an improvement on the MNL model with the same variables (with a log likelihood value of -1631.936). Table 2 also shows transfer penalties expressed in EIVM.

McFadden pseudo R-squared represents an excellent fit. McFadden (1979) stated “while the R^2 index is a more familiar concept to planners [...], it is not as well behaved as the rho-squared measure for ML estimation”. The relationship between both indices establishes that a value of rho-squared equal to 0.51 is equivalent to a value of R^2 greater than 0.8 (Domencich and McFadden, 1975). Hence the model is robust and reliable and can be used to recommend policy actions and to understand users' perception of transfers.

5. Discussion of results

The following analysis focuses on both the coefficients of Table 2 (predictive approach), and on the non-significant variables reported in Appendix A (explanatory approach).

5.1. Walking, waiting and in-vehicle times

As expected, all time-related variables (walking, waiting and in-vehicle times) are negative, and all are statistically significant (p -value < 0.05). Walking time for the first transfer is perceived slightly worse in $U(T_2)$ than in $U(T_1)$, but better if compared to the second transfer in $U(T_2)$. When making two transfers, the effect of walking time in the second transfer is almost double that of the first transfer. This illustrates the need to minimise the walking times in transfers at the end of a trip. Walking time also depends on gender (significantly different from zero at the 90% level) in $U(T_1)$, with women penalising this factor 1.27 more than men. This finding is in line with Wardman et al. (2001), who found that walking time is valued 23% higher in women, and Navarrete and Ortuzar (2013) who reported a penalty of 4.05.

Waiting time is also more poorly perceived in $U(T_2)$ than in $U(T_1)$. More specifically, waiting time in the second transfer is perceived to be 20% worse than in the first transfer when making two transfers. In-vehicle times follow the same trend. However, the time spent in the last vehicle in $U(T_2)$ is better perceived than other trip times. It is natural for users to be less concerned about transfer penalties when they are closer to their destination. To estimate comparisons in EIVM, we set an average value of 0.3571 and 0.3772 when making one and two transfers respectively. These figures are used to calculate the EIVM columns in Table 2.

Apart from the statistically significant relationship between walking time and gender in $U(T_1)$, we found no other dependency

Table 2
Results of the ECL model.

Attributes	U(T ₀): no transfer (1557 observations)				U(T ₁): one transfer (2754 observations)				U(T ₂): two transfers (1197 observations)			
	Coef.	EIVM	Sig.		Coef.	EIVM	Sig.		Coef.	EIVM	Sig.	
Constant (capturing the pure transfer penalty)	–	–	–		– 5.4441	– 15.245	0.0012		– 6.6619	– 17.661	0.0011	
Mode	0.2722	2.965	0.0001		–	–	–		–	–	–	
Intermodality in first transfer	–	–	–		– 0.7804	– 2.185	0.0082		– 0.8712	– 2.310	0.0147	
Intermodality in second transfer	–	–	–		–	–	–		– 1.2413	– 3.291	0.0016	
In-vehicle time in first vehicle	– 0.0918	– 1.000	0.0000		– 0.2866	– 0.803	0.0001		– 0.3818	– 1.012	0.0002	
In-vehicle time in second vehicle	–	–	–		– 0.4275	– 1.197	0.0000		– 0.4329	– 1.148	0.0001	
In-vehicle time in third vehicle	–	–	–		–	–	–		– 0.3169	– 0.840	0.0005	
Walking time in first transfer	–	–	–		– 0.2802	– 0.785	0.0011		– 0.3384	– 0.897	0.00360	
Interaction between walking time and gender in first transfer	–	–	–		– 0.0748	– 0.209	0.0503*		–	–	–	
Walking time in second transfer	–	–	–		–	–	–		– 0.6013	– 1.594	0.0204	
Waiting time in first transfer	–	–	–		– 0.4076	– 1.141	0.0000		– 0.4660	– 1.235	0.0000	
Waiting time in second transfer	–	–	–		–	–	–		– 0.5521	– 1.464	0.0000	
Difference in level in first transfer	–	–	–		0.2553	0.715	0.2235*		– 0.5490	– 1.455	0.1742*	
Difference in level in second transfer	–	–	–		–	–	–		– 0.5027	– 1.333	0.1248*	
Real-time information	–	–	–		–	–	–		0.6577	1.744	0.0428	
Crowding	–	–	–		0.1474	0.413	0.4309*		– 1.3209	– 3.502	0.0034	
Interaction between crowding and young	–	–	–		– 1.2993	– 3.638	0.0000		–	–	–	
Number of transfers currently made	–	–	–		– 0.8625	– 2.415	0.0423		0.7959	2.110	0.0102	
Reading while travelling	–	–	–		0.1154	0.323	0.5923*		– 0.5602	– 1.485	0.0485	
Difference between total trip time shown in SP choice situations and total trip time revealed (when positive)	–	–	–		– 0.0014	– 0.004	0.9965		– 0.000,102	– 0.00,027	0.0012	
Difference between total trip time shown in SP choice situations and total trip time revealed (when negative)	–	–	–		– 0.000,040	– 0.00,001	0.0479		0.000,068	0.00,018	0.0164	
η _q	1.8000	–	0.0000		0.000,018	0.00,005	0.3996*		1.3650	–	0.0000	

Log likelihood function = – 1474.041.

Log likelihood constants only = – 1723.027.

McFadden Pseudo R-squared = 0.5128.

Chi squared = 3103.075 (37 degrees of freedom) (Sig. = 0.0000).

* Not significantly different from zero at the 95% level.

between walking and in-vehicle times and other variables (such as age, number of transfers and whether travelling with children).

Utility functions indicated that the most severely penalised time varied between alternatives. If only one transfer was made, the waiting time produced the maximum disutility (followed by in-vehicle time and walking time). However, when transferring twice, walking time was poorly perceived in the second transfer, followed by in-vehicle time in the second vehicle, then waiting time. These results are comparable to those of other studies (which involved only one transfer). Navarrete and Ortuzar (2013) reported that waiting time was the most severely penalised, followed by initial and final walking times. Iseki and Taylor (2009) and Walle and Steenberghen (2006) stated that waiting times are more valued than walking times. Iseki and Taylor (2009) concluded that out-of-vehicle times were perceived by PT users as being more onerous than in-vehicle times. Ceder et al. (2013b) studied this statement in depth and concluded that users showed a greater preference for the scenario that was perceived as most conservative (less difference in range of out-of-vehicle times). These results are similar to those found in the literature for one transfer, although transferring twice induces a change. For example, it is significant that walking times are critical when making two transfers.

5.2. Modes, intermodality and stairs

Although the proposed utility functions (Eqs. (5)(7)) included the mode (which was not statistically significant), we decided to replace it with intermodality in the final model. Users negatively perceive a transfer which involves changing the mode of transport. While this could be assumed to be due to the existence of stairs, they are not significant in the model, suggesting that the impact may derive from the fact that users do not perceive the PT system as an integrated network. The impact of intermodality in the second transfer of $U(T_2)$ is comparable to a 3.3 increase in EIVM, giving an idea of the magnitude of the problem. We found no interaction between intermodality and gender, age, ticket type or travelling with children. It is also noteworthy that if no transfers are made, travelling by metro provides higher utility than travelling by bus, which is in line with a study by Currie (2005).

5.3. Habits

The results reveal that commuters in Madrid tend to make one transfer. The coefficient of the number of transfers currently made by participants in $U(T_1)$ is not significant, showing there is no relationship between transferring once and transferring habits. However, this variable has a positive effect in trips involving two transfers. Users with transfer experience perceive a utility of almost 0.80 per transfer currently made. This habit may offset the impacts of intermodality or crowding.

We also verified the hypothesis that individuals are influenced by their trip habits. When participants were presented with a choice situation with a longer total trip time than their usual daily trips, they perceived a disutility. The same applies if the total waiting time in the choices was higher than their usual total waiting time. Coefficients are low but significant, implying that habit related to times is not a crucial variable, but one that users will always unconsciously consider when facing a route choice decision. On the other hand, habits related to walking and in-vehicle times were not found to be significant.

5.4. Crowding and information

The disutility produced by crowded scenarios is slightly higher when making two transfers than only one. Crowding implies that a large number of people gathered together in a limited space can influence transfer perceptions, and is one of the most significant variables in the utility functions after the constants. Its impact is comparable to a 3.6 increase in EIVM, highlighting its importance. Crowding is more penalised by young users in $U(T_1)$ with a total coefficient of -2.16 (1.66 times higher than the rest), while this variable is not significant in $U(T_2)$. Crowding is not dependent on gender, age or number of transfers.

Real-time information at stops and stations, along with the number of transfers currently made by the participants, reinforces the idea that commuters in Madrid tend to make one transfer. This variable is not significant in $U(T_1)$ but it is in $U(T_2)$, with an impact of 1.7 EIVM, implying that real-time information gains in importance when the number of transfers increases.

We measured preference variations between real-time information and gender, age, use of transport apps and education level, and none were statistically significant.

5.5. Activities while travelling

Activities undertaken while travelling may influence the utility derived from travel episodes (Rasouli and Timmermans, 2014). For instance, reading and listening to music both lead to a more positive evaluation of the PT commute (Varotto et al., 2017). However, we do not know the differences between the utility of these activities in the various stages of a trip: travel, waiting and transfer time. The qualitative study conducted in Madrid revealed that activity disruption was a key variable when transferring (Cascajo et al., 2017). The analysis of the RP data also confirmed that 70% of respondents read during their trip, while 53% used their smartphones and 20% listened to music. However, the model found only reading to be significant in $U(T_2)$ (as opposed to listening to music, studying, sleeping or using the mobile phone). The analysis of the RP data showed that the percentage of commuters reading while using PT increased with the number of transfers. Specifically, 75% of users who usually transferred twice or more read in the vehicle, while this figure decreased to 70.6% if they transferred once and 67.2% if not at all. It could be assumed that users who read are more affected in the case of two transfers, thus increasing the perceived disutility. Further research is required into the influence of activities when transferring to accurately quantify their effects.

5.6. Pure transfer penalty

Finally, once we controlled for all the other elements in a transfer, constants in $U(T_1)$ and $U(T_2)$ were defined to capture what we call the pure transfer penalty, without any other inconvenience caused by other activities in a transfer (walking, additional waiting, information, etc.); i.e. the disutility generated merely by the interruption of the trip. Although other types of characteristics unknown to us may also be present, this would not influence the difference between constants, so it can be interpreted as the relative perception of the pure transfer penalty. The impact of the pure transfer penalty is perceived as 15.2 and 17.7 EIVM when making one and two transfers respectively. The difference in the pure transfer penalty between the no-transfer and one-transfer option is much greater than the difference between transferring once and twice, suggesting that it decreases progressively as the number of transfers increases. According to Cheng (2010), crowding is included in the concept of the pure transfer penalty, so its impact would be even higher.

It should be noted that socioeconomic variables such as income, gender, age and education were included in the model as dummy variables and found to be non-significant. This meant that *a priori* the perception of the pure transfer penalty is not distributed across the population. However, more specific research is required.

Frei et al. (2017) assessed the demand for a flexible PT service by conducting an SP survey in which, among other variables, the number of transfers varied across the choice scenarios. The results show that the cost associated to making transfers is equivalent to 4.9 min and 10.9 min of car in-vehicle travel time for one and two transfers respectively. These results cannot be compared to ours, however, for two reasons: unlike ours, their model does not include variables such as crowding, real-time information or activities while travelling; and transfers are described only by number, without any time-consuming activities such as walking and waiting while transferring. This is probably the reason why their results show the disutility of the second transfer to be more than double the first, while we obtained a modest 22% increase but a relevant increase in the perception of walking while making the second transfer.

It is therefore crucial to identify and measure clearly the factors affecting the pure transfer penalty to influence and minimise its effect. More research is therefore required along these lines.

6. Conclusions

This paper describes the methodology used to establish and apply a framework to estimate the penalty perceived by commuters when making transfers in multimodal urban trips. It includes the design of an experimental survey with revealed and stated preference questions to model transfer penalties and determine the elements of the pure transfer penalty in a public transport network, controlling for all other elements. A case study was carried out in Madrid, Spain, and the survey was given to commuters. An Error Component Logit model was calibrated. The findings are potentially very useful for analysing trends and providing policy recommendations, and contribute to an understanding of users' perception of transfers in multimodal urban networks.

The results for the traditional variables show that when only one transfer is made, waiting times are perceived by commuters as causing more disutility than in-vehicle and walking times, similar to the findings of other studies. However, these relative values change when commuters make two transfers, as walking times are perceived as more onerous. Crowding, intermodality and habits were also found to be significant in the transfer process.

By controlling for the variables explained above we were able to isolate the effect of a transfer as a pure interruption of the trip: a pure transfer penalty, which influences users' decisions. This phenomenon was mainly captured by appropriate constants in the utility functions. We found that the magnitude of the pure transfer penalty impact is similar to a 15.2–17.7 increase in EIVM, and is 22% higher in the case of two transfers. This suggests that a traveller would prefer a somewhat longer non-transfer alternative to a single transfer, even in an ideal transfer in which walking and waiting times are equal to zero. As stated in the preliminary steps (focus groups) of this study, variables such as mental effort and activity disruption are components of the pure transfer penalty. Other variables that may explain this perception include anxiety, crowding (one of the variables in the model), fear of unexpected delays, accessibility to stops or stations, incomplete information, uncertainty, safety and security (Cheng, 2010). In addition, controlling for walking, waiting and other variables proved to be important, as walking perception in the second transfer increases notably.

These findings suggest certain policy measures that would be worth studying and evaluating. If traditional variables –walking, waiting and in-vehicle times– are difficult to vary, acting on the quality of the transfer points could reduce the associated disutility. For instance, a pleasant environment (roof, seating, plants), good information such as signs, panels and audio messages (particularly when the transfer involves intermodality) and communication facilities (i.e. Wi-Fi, good mobile coverage) would be a step in this direction. Acting on the design of the system by increasing the frequency and/or capacity of vehicles would reduce both crowding and waiting times. Again, a trade-off emerges between users' and operators' costs. Our results for the pure transfer penalty underline the paramount importance of properly valuing transfers when designing public transport line structures, as shown by Fielbaum et al. (2016).

The study is limited to urban PT commuters, so it would be interesting to replicate this research with long-distance commuters, tourists or senior citizen groups, who would perceive transfers differently. Future research efforts should focus on determining the contribution of each of the variables explaining the pure transfer penalty. It would also be interesting to rank their importance in users' perceptions and study how far they are affected by the application of information measures or planning decisions. Another line of research would be to replicate the SP experiment using a Bayesian D-efficient design, and compare differences in results between both methods. Further research is also required to gain a better understanding of the relationship between transferring and activities pursued while travelling. This study is the first step in the quantification of the pure transfer penalty, as its results have shown this to be a crucial component in users' route choice decisions involving transfers.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Spanish Ministry of Economy and Research and its National Programme for Research, Development and Innovation oriented to Challenges in Society (TRANSFER Project; TRA2013-45239-R) for providing the necessary funding. Prof. Jara-Diaz acknowledges Grant 1160410 from Fondecyt, Chile, and the Institute for Complex Engineering Systems, grants ICM: P-05-004-F and CONICYT: FB0816. The authors also acknowledge the collaboration of Elena Lopez who helped to design and conduct the pilot and final surveys. This research was also possible thanks to the research grant awarded to the corresponding author [BES-2014-069223]. We would like to thank the anonymous reviewers for their in-depth and detailed comments on a previous version.

Appendix A

See [Tables A.1–A.3](#)

Table A.1

Descriptive analysis of the variables considered in the design of the SP experiment.

Attributes	U(T ₀): no transfer		U(T ₁): one transfer		U(T ₂): two transfers	
	Average	Std. deviation	Average	Std. deviation	Average	Std. deviation
First mode	0.443	0.497	0.611	0.502	0.667	0.485
Second mode	–	–	0.667	0.485	0.611	0.502
Third mode	–	–	–	–	0.667	0.485
In-vehicle time in first vehicle	41.663	3.338	12.477	2.699	5.697	2.312
In-vehicle time in second vehicle	–	–	12.010	2.644	5.133	2.022
In-vehicle time in third vehicle	–	–	–	–	6.323	2.753
Walking time in first transfer	–	–	3.895	1.822	2.901	0.811
Walking time in second transfer	–	–	–	–	2.657	0.880
Waiting time in first transfer	–	–	5.660	2.570	2.544	1.833
Waiting time in second transfer	–	–	–	–	2.667	1.662
Difference in level in first transfer	–	–	0.497	0.500	0.376	0.485
Difference in level in second transfer	–	–	–	–	0.334	0.472
Real-time information	–	–	0.557	0.497	0.491	0.500
Crowding	–	–	0.336	0.471	0.233	0.423

Table A.2

List of variables not included in the final model –dismissed as non-significant.

Category	Attributes	Specification
Socioeconomic variables	income	Net household monthly income (euro). Divided into five segments: < 1000; 1000–2000; 2000–3000; 3000–5000; > 5000
	gender	Is equal to 1 for women and 0 for men
	age	Computed and divided into four segments: 15–24; 25–39; 40–54; 55–69. We also sought to divide into other different segments
	young	Takes a value of 1 for ages between 15 and 24 and 0 otherwise
	old	Takes a value of 1 for ages between 55 and 69 and 0 otherwise
	education	Level of education (no schooling completed; secondary school certificate; vocational training qualification; bachelor's degree)
Common trip	ttimep	Total trip time (min) revealed
	walktimep	Walking time (min) in each transfer. The number of variables is equal to the number of transfers currently made
	waittimep	Waiting time (min) in each transfer. The number of variables is equal to the number of transfers currently made
	vehimep	In-vehicle time (min) in each transfer. The number of variables is equal to the number of transfers currently made plus one
	stairsrp	Number of stairs revealed in each transfer. The number of variables is equal to the number of transfers currently made
	children	Takes a value of 1 if travelling with children's pushchairs and 0 otherwise
	ticket	Type of ticket commonly used (single ticket, multiple tickets or travel card)

(continued on next page)

Table A.2 (continued)

Category	Attributes	Specification
Habits	habitmn	Difference (min) between total trip time shown in SP choice situations and total trip time revealed (when negative)
	habitwaip	Difference (min) between total waiting time shown in SP choice situations and total waiting time revealed (when positive)
	habitwalkp	Difference (min) between total walking time shown in SP choice situations and total walking time revealed (when positive)
	habitwalkn	Difference (min) between total walking time shown in SP choice situations and total walking time revealed (when negative)
	habitvehp	Difference (min) between total in-vehicle time shown in SP choice situations and total in-vehicle time revealed (when positive)
	habitvehn	Difference (min) between total in-vehicle time shown in SP choice situations and total in-vehicle time revealed (when negative)
	app	Takes a value of 1 if respondents use apps to see the time before the next vehicle and 0 otherwise
Activities ¹	study	Takes a value of 1 if studying while travelling and 0 otherwise
	music	Takes a value of 1 if listening to music while travelling and 0 otherwise
	phone	Takes a value of 1 if using the mobile phone while travelling and 0 otherwise
	sleep	Takes a value of 1 if sleeping while travelling and 0 otherwise
	nothing	Takes a value of 1 if doing nothing while travelling and 0 otherwise
Importance and satisfaction ²	infoI	Importance of real-time information. Takes a value from 0 to 100
	infoS	Satisfaction with real-time information. Takes a value from 0 to 100
	cellcoverageI	Importance of mobile phone coverage. Takes a value from 0 to 100
	cellcoverageS	Satisfaction with mobile phone coverage. Takes a value from 0 to 100
	shelterI	Importance of sheltered stops. Takes a value from 0 to 100
	shelterS	Satisfaction with sheltered stops. Takes a value from 0 to 100
	seatsI	Importance of available seating. Takes a value from 0 to 100
	seatsS	Satisfaction with available seating. Takes a value from 0 to 100
	transferI	Importance of transfers. Takes a value from 0 to 100
	transferS	Satisfaction with transfers. Takes a value from 0 to 100

1: Activities were also grouped into study-read, and music-phone.

2: Segments of all attributes were defined by 20 and 25, and the importance was multiplied by satisfaction, dividing the result into 4 and 5 segments.

Table A.3

List of interactions not included in the final model—dismissed as non-significant.

Main attribute	In interaction with
Walking time	Age, young, old, children, number of transfers
In-vehicle time	Age, young, old, children, number of transfers
Intermodality	Gender, age, young, old, children, number of transfers, ticket
Real-time information	Gender, age, young, old, app, education
Crowding	Gender, age, old, number of transfers

References

- Bates, J., 1988. Econometric issues in stated preference analysis. *J. Transport Econ. Policy* 22 (1), 59–69.
- Birnbaum, M.H., 2004. Human research and data collection via the internet. *Annu. Rev. Psychol.* 55, 803–832. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.141601>.
- Bradley, M.A., Daly, A.J., 1994. Use of the logit scaling approach to test for rank-order and fatigue effects in stated preference data. *Transportation* 21 (2), 167–184. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01098791>.
- Bradley, M.A., Daly, A.J., 1997. Estimation of logit choice models using mixed stated preference and revealed preference information. *Proceedings of the Sixth International Conference on Travel Behaviour, Quebec* 1, 117–133.
- Cascajo, R., Garcia-Martinez, A., Monzon, A., 2017. Stated preference survey for estimating passenger transfer penalties: design and application to madrid. *Eur. Transport Res. Rev.* 9 (42), 1–11. <http://dx.doi.org/10.1007/s12544-017-0260-x>.
- Cascajo, R., Herrero, F., Monzon, A., 2016. Identifying the Variables Affecting Users' Perception of Transfers in Multimodal Urban Trips through Focus Groups in Two Spanish Cities: Vitoria and Madrid. *TRANSyT Working Paper 2016-01-EN*, Universidad Politécnica de Madrid, 2016. <https://goo.gl/q3v6q3>. (accessed 10 October 2017).
- Ceder, A., Chowdhury, S., Taghipouran, N., Olsen, J., 2013a. Modelling public-transport users' behaviour at connection point. *Transp. Policy* 27, 112–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.01.002>.
- Ceder, A., Hadas, Y., McIvor, M., Ang, A., 2013b. Transfer synchronization of public transport networks. *Transp. Res. Rec.* 2350, 9–16. <http://dx.doi.org/10.3141/2350-02>.
- Cheng, Y.H., 2010. Exploring passenger anxiety associated with train travel. *Transportation* 37 (6), 875–896. <http://dx.doi.org/10.1007/s11116-010-9267-z>.
- Cheng, Y.H., Tseng, W.C., 2016. Exploring the effects of perceived values, free bus transfer, and penalties on intermodal metro-bus transfer users' intention. *Transp. Policy* 47, 127–138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.01.001>.
- Cherchi, E., Hensher, D.A., 2015. Workshop synthesis: stated preference surveys and experimental design, an audit of the journey so far and future research

- perspectives. *Transport Survey Methods: Embrac. Behaviou. Technol. Changes* 11, 154–164. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2015.12.013>.
- ChoiceMetrics, 2014. Ngene 1.1.2 User Manual & Reference Guide.
- Chowdhury, S., Ceder, A., Sachdeva, R., 2014. The effects of planned and unplanned transfers on public transport users' perception of transfer routes. *Transport. Plan. Technol.* 37 (2), 154–168. <http://dx.doi.org/10.1080/03081060.2013.851511>.
- Chowdhury, S., Ceder, A., Schwalger, B., 2015. The effects of travel time and cost savings on commuters' decision to travel on public transport routes involving transfers. *J. Transp. Geogr.* 43, 151–159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.01.009>.
- Cobanoglu, C., Warde, B., Moreo, P.J., 2001. A comparison of mail, fax and web-based survey methods. *Int. J. Market Res.* 43 (4), 441–452.
- Consortio Regional de Transportes de Madrid (CRTM), 2005. Encuesta domiciliaria de movilidad de 2004 en la Comunidad de Madrid. <https://goo.gl/8nsq6r> (accessed 10 October 2017).
- Converse, P., Wolfe, E.W., Huang, X., Oswald, F.L., 2008. Response rates for mixed-mode surveys using mail and E-mail/Web. *Am. J. Eval.* 29 (1), 99–107. <http://dx.doi.org/10.1177/1098214007313228>.
- Currie, G., 2005. The demand performance of bus rapid transit. *J. Public Transport.* 8, 41–55.
- Currie, G., Loader, C., 2010. Bus network planning for transfers and the network effect in Melbourne, Australia. *Transp. Res. Rec.* 2145, 8–17. <http://dx.doi.org/10.3141/2145-02>.
- Domencich, T., McFadden, D., 1975. *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*. North-Holland, Amsterdam.
- Douglas, N.J., Jones, M., 2013. Estimating transfer penalties and standardised income values of time by stated preference survey. *Aust. Transport Res. Forum* 1–21.
- Espino, R., Martín, J.C., Román, C., 2007. Análisis de la calidad del transporte de pasajeros. Un estudio de la disposición a pagar por no trasladar. *X Encuentro de Economía Aplicada*, Logroño, Spain.
- European Commission, 2013. Thematic Research Summary: Passenger Transport. <https://goo.gl/rDGorQ> (accessed 10 October 2017).
- Evans, J.R., Mathur, A., 2005. The value of online surveys. *Internet Res.* 15 (2), 195–219. <http://dx.doi.org/10.1108/10662204510590360>.
- Fielbaum, A., Jara-Díaz, S.R., Gschwender, A., 2016. Optimal public transport networks for a general urban structure. *Transport. Res. Part B: Methodol.* 94, 298–313. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2016.10.003>.
- Frei, C., Hyland, M., Mahmassani, H.S., 2017. Flexing service schedules: Assessing the potential for demand-adaptive hybrid transit via a stated preference approach. *Transport. Res. Part C: Emerg. Technol.* 76, 71–89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2016.12.017>.
- Gschwender, A., Jara-Díaz, S.R., Bravo, C., 2016. Feeder-trunk or direct lines? Economies of density, transfer costs and transit structure in an urban context. *Transport. Res. Part A: Policy Practice* 88, 209–222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2016.03.001>.
- Guo, Z., 2003. Assessment of the Transfer Penalty for Transit Trips in Downtown Boston. A GIS-based Disaggregate Modeling Approach. Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, United States.
- Guo, Z., Wilson, N., 2011. Assessing the cost of transfer inconvenience in public transport systems: a case study of the London Underground. *Transport. Res. Part A: Policy Practice* 45 (2), 91–104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2010.11.002>.
- Hensher, D.A., 1994. Stated preference analysis of travel choices: the state of practice. *Transportation* 21 (2), 107–133. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01098788>.
- Hernandez, S., de Monzon, A., Ona, R., 2016. Urban transport interchanges: A methodology for evaluating perceived quality. *Transport. Res. Part A: Policy Practice* 84, 31–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2015.08.008>.
- Horowitz, A.J., Zloset, D.J., 1981. Transfer penalties: Another look at transit riders' reluctance to transfer. *Transportation* 10 (3), 279–282. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00148463>.
- Huber, J., Zwerina, K., 1996. The importance of utility balance in efficient choice designs. *J. Mark. Res.* 33, 307–317. <http://dx.doi.org/10.2307/3152127>.
- Instituto Nacional de Estadística (INE), 2017. Censo 2011. Spanish Statistical Office. <http://www.ine.es/> (accessed 10 October 2017).
- Iseki, H., Taylor, B.D., 2009. Not all transfers are created equal: towards a framework relating transfer connectivity to travel behaviour. *Transport Rev.* 29, 777–800.
- Jang, T.Y., 2003. Causal relationship among travel mode, activity, and travel patterns. *J. Transp. Eng.* 129 (1), 16–22. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2003\)129:1\(16\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:1(16)).
- Jara-Díaz, S.R., 2007. *Transport Economic Theory*. Elsevier, Oxford.
- Kaplan, S., Bekhor, S., Shiftan, Y., 2012. Web-based survey design for unravelling semi-compensatory choice in transport and urban planning. *Transport. Plan. Technol.* 35 (2), 121–143. <http://dx.doi.org/10.1080/03081060.2012.651874>.
- Mac Nally, R., 2000. Regression and model-building in conservation biology, biogeography and ecology: the distinction between –and reconciliation of– 'predictive' and 'explanatory' models. *Biodivers. Conserv.* 9, 655–671. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008985925162>.
- Metropolitan Mobility Observatory (MMO), 2016. MMO Report 2014. Transport Research Centre, Universidad Politécnica de Madrid. <https://goo.gl/LgBsJc> (accessed 10 October 2017).
- McCord, M.M., Wirtz, J., Mishalani, R.G., 2006. Passenger waiting time perceptions at bus stops. *J. Public Transport.* 9 (2), 89–106.
- McFadden, D., 1979. Chapter 15: quantitative methods for analyzing travel behaviour on individuals: some recent developments. *Behavioural travel modelling*. David Hensher, Peter Stopher, Croom Helm (Eds.).
- Navarrete, F.J., Ortuzar, J.D., 2013. Subjective valuation of the transit transfer experience: the case of Santiago de Chile. *Transp. Policy* 44 (6), 138–147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.10.006>.
- Nielsen, G., Lange, T., 2007. Network Design for Public Transport Success – Theory and Examples. 10th International Conference on Competition and Ownership of Land Passenger, Hamilton Island, Queensland, Australia.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2016. OECD Regions at a Glance 2016. OECD Publishing, Paris. <https://goo.gl/7nFf3n> (accessed 10 October 2017).
- Ortuzar, J.D., Willumsen, L.G., 2011. *Modelling Transport*, 4th ed. John Wiley & Sons, Chichester (United Kingdom).
- Pfefferman, D., 1993. The role of sampling weights when modeling survey data. *Int. Stat. Rev.* 61 (2), 317–337. <http://dx.doi.org/10.2307/1403631>.
- Rasouli, S., Timmermans, H., 2014. Judgments of travel experiences, activity envelopes, trip features and multi-tasking: a panel effects regression model specification. *Transport. Res. Part A: Policy Practice* 63, 67–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2014.02.012>.
- Rose, J.M., Bliemer, M.C., Hensher, D.A., Collins, A.T., 2008. Designing efficient stated choice experiments in the presence of reference alternatives. *Transport. Res. Part B: Methodol.* 42 (4), 395–406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2007.09.002>.
- Rose, J.M., Bliemer, M.C., 2009. Constructing efficient stated choice experimental designs. *Transport Rev.* 29 (5), 587–617. <http://dx.doi.org/10.1080/01441640902827623>.
- Roztocki, N., Morgan, S.D., 2002. The use of web-based surveys for academic research in the field of engineering. *Proc. Eng. Manage. Global Environ.* 33–38.
- Schakenbos, R., 2014. Valuation of a transfer in a multimodal public transport trip. A stated preference research into the experienced disutility of a transfer between bus/tram/metro and train within the Netherlands. Master Thesis, University of Twente, Netherlands.
- Schouten, B., Cobben, F., Bethlehem, J., 2009. Indicators for the representativeness of survey response. *Survey Methodol.* 35 (1), 101–113.
- Sills, S.J., Song, C., 2002. Innovations in survey research: an application of web-based surveys. *Social Sci. Computer Rev.* 20 (1), 22–30.
- Solon, G., Haider, S.J., Wooldridge, J.M., 2013. What are we weighting for? *J. Human Resources* 50 (2), 301–316.
- Van Audenhove, F.J., Kornichuk, O., Dauby, L., Pourbaix, J., 2014. The Future of Urban Mobility 2.0 - Imperatives to shape extended mobility ecosystems of tomorrow. Arthur D. Little. <https://goo.gl/4Vn2n7> (accessed 10 October 2017).
- Varotto, S.F., Glerum, A., Stathopoulos, A., Bierlaire, M., Longo, G., 2017. Mitigating the impact of errors in travel time reporting on mode choice modelling. *J. Transp. Geogr.* 62, 236–246.

- Vicente, P., Reis, E., 2010. Using questionnaire design to fight nonresponse bias in web surveys. *Social Sci. Computer Rev.* 28 (2), 251–267. <http://dx.doi.org/10.1177/0894439309340751>.
- Vingilis, E., Seeley, J., Wiesenthal, D., 2013. Street racing and stunt driving in Ontario, Canada: Results of a web-based survey of car and racing enthusiasts. *Transport. Res. Part F: Traffic Psychol. Behaviour* 21, 30–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2013.08.003>.
- Walle, S.V., Steenberghen, T., 2006. Space and time related determinants of public transport use in trip chains. *Transport. Res. Part A: Policy Practice* 40, 151–162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2005.05.001>.
- Wardman, M., Hine, J., Stradling, S., 2001. *Interchange and travel choice, volume 1* Institute for Transport Studies, Leeds.
- Yun, G.W., Trumbo, C.W., 2000. Comparative response to a survey executed by post, e-mail, & Web form. *J. Computer-Mediated Commun.* 6 (1).

ANEXO II. Aclaraciones sobre el diseño y desarrollo de las encuestas

II.A) Comandos del software Ngene

A continuación, se detallan los comandos más importantes utilizados en la sintaxis del software Ngene para generar los diseños de situaciones de elección de la parte de PD de las encuestas de Madrid y Vitoria-Gasteiz:

- **'alts'**. Especifica el número de alternativas del experimento.
- **'rows'**. Define el número de situaciones de elección.
- **'alg = mfederov'**. Define la creación de un número determinado de situaciones de elección, que son evaluadas posteriormente para optimizar la obtención del número fijado de situaciones de elección.
- **'block'**. Especifica el número de bloques de situaciones de elección.
- **'eval'**. Evalúa el comportamiento de un diseño MNL en un modelo ECL.
- **'require'**. Indica las condiciones que debe tener en cuenta el software para generar las situaciones de elección.
- **'model'**. Introduce las funciones de utilidad, los parámetros y niveles de atributos. En cada línea de la sintaxis debe detallarse, en primer lugar, el parámetro del atributo, seguido de la variable. Los parámetros y niveles de atributos se introducen entre corchetes.

II.B) Sintaxis de la generación del experimento piloto de PD de Madrid en Ngene

```
Design
;alts = T0, T1, T2;rows = 18 ;eff = (mnl,d);alg = mfederov(candidates=1000);block = 3
;require:
t1.tveh01 + t1.tcaml1 + t1.tesp11 + t1.tveh11 < t0.tveh00 -3,
t1.tveh01 + t1.tcaml1 + t1.tesp11 + t1.tveh11 > t0.tveh00 -10,
t2.tveh02 + t2.tcaml2 + t2.tesp12 + t2.tveh12 + t2.tcaml2 + t2.tesp22 + t2.tveh22 < t1.tveh01 +
t1.tcaml1 + t1.tesp11 + t1.tveh11 -3,
t2.tveh02 + t2.tcaml2 + t2.tesp12 + t2.tveh12 + t2.tcaml2 + t2.tesp22 + t2.tveh22 > t1.tveh01 +
t1.tcaml1 + t1.tesp11 + t1.tveh11 -10
;model:
U(T0) = tveh00[-0.2] * tveh00[35,40,45] + modo00[1] * modo0[0,1]/
U(T1) = ctet1[-1] + tveh01[-0.2] * tveh01[9,12,15]
+ modo01[2] * modo0
+ tcaml1[-0.25] * tcaml1[2,4,6]
+ tesp11[-0.2] * tesp11[2,5,8]
+ escl1[-1] * escl1[0,1]
+ tveh11[-0.2] * tveh11[9,12,15]
+ modol1[2] * modol1[0,1]
+ info1[2] * info[0,1]
+ crowd1[-2] * crowd1[0,1] /
U(T2) = ctet2[-1.1] + tveh02[-0.2] * tveh02[4,7,10]
+ modo02[1.1] * modo0
+ tcaml2[-0.4] * tcaml2[2,3,4]
+ tesp12[-0.3] * tesp12[1,3,5]
+ escl2[-1] * escl1
+ tveh12[-0.2] * tveh12[4,7,10]
+ modol2[1.1] * modol1
+ tcaml2[-0.4] * tcaml2[2,3,4]
+ tesp22[-0.3] * tesp22[1,3,5]
+ escl2[-1] * escl2[0,1]
+ tveh22[-0.2] * tveh22[4,7,10]
+ modo22[1.1] * modo2[0,1]
+ info2[1.1] * info[0,1]
+ crowd2[-1.1] * crowd1[0,1]$
```

II.C) Sintaxis de la generación del experimento piloto de PD de Vitoria-Gasteiz en Ngene

```
Design
;alts = T0, T1;rows = 18
;eff = (mnl,d);alg = mferdov(candidates=1000);block = 2
;require:
t1.tacc1 + t1.tegr1 + t1.tcam1 < t0.tacc0 + t0.tegr0,
t0.tacc0 + t0.tveh00 + t0.tegr0 < 25,
t0.tacc0 + t0.tveh00 + t0.tegr0 > 18,
t1.tacc1 + t1.tveh01 + t1.tcam1 + t1.tespl + t1.tveh1 + t1.tegr1 < t0.tacc0 +
t0.tveh00 + t0.tegr0 - 5,
t1.tacc1 + t1.tveh01 + t1.tcam1 + t1.tespl + t1.tveh1 + t1.tegr1 > t0.tacc0 +
t0.tveh00 + t0.tegr0 - 15
;model:
U(T0) = tacc0[-0.4] * tacc0[1,3,5]
      + tveh00[-0.4] * tveh0[13,16,19]
      + modo00[2] * modo0[0,1]
      + tegr0[-0.4] * tegr0[1,3,5]/
U(T1) = ctet1[-3]
      + tacc1[-0.4] * tacc1[1,2,3]
      + tveh01[-0.4] * tveh01[5,7,9]
      + modo01[2] * modo0
      + tcam1[-0.4] * tcam1[1,2,3]
      + tespl[-0.35] * tespl[2,3,4]
      + tveh1[-0.4] * tveh1[5,7,9]
      + modo11[2] * modo1[0,1]
      + tegr1[-0.4] * tegr1[1,2,3]
      + info1[2] * info[0,1]
      + atm1[2] * atm[0,1]$
```

II.D) Test de validación de las encuestas piloto

El 26 de octubre de 2015, a las 10:00 horas, los investigadores del proyecto TRANSFER visitaron el Centro de Estudios Ambientales de Vitoria-Gasteiz para realizar un test de validación de las encuestas piloto con 20 de sus trabajadores. Más tarde, se encuestó a usuarios de TP en una sala del Palacio de Congresos Europa, también en Vitoria-Gasteiz. El objetivo fue detectar errores de comprensión de la encuesta y, en especial, del experimento de PD.

Las observaciones ayudaron a mejorar el diseño y comprensión de la parte de PR de la encuesta, conllevando las siguientes acciones:

- Añadir la formación del encuestado en la parte de PR.
- Incluir la posibilidad de indicar la parada o estación de transporte donde el encuestado inicia y finaliza su viaje, para preservar la anonimidad de la encuesta en caso de que el participante no quisiera indicar su domicilio.
- Añadir la posibilidad de que un encuestado pudiera completar la encuesta sin proporcionar su correo electrónico o número de teléfono. En ese momento, era necesario rellenar uno de los campos obligatoriamente. En caso de no hacerlo, el participante declararía su conformidad de no participar en el sorteo.
- Definición de nuevos niveles de renta anual por hogar, en base a los indicadores socioeconómicos de la ciudad.

Las sugerencias obtenidas también ayudaron a depurar la parte de PD de las encuestas piloto de ambas ciudades. En concreto:

- La diferencia de tiempos totales en las situaciones de elección de las alternativas con y sin transbordo era reducida, y los encuestados elegían

sistemáticamente la opción sin transbordo. Por tanto, se decidió aumentar esta diferencia y la utilidad de las alternativas con transbordo.

- Las alternativas especificaban el tiempo en completar cada etapa, pero no el total. De esta forma, se incluyó la suma de los tiempos caminando, en vehículo y total de cada alternativa para facilitar esta tarea y reducir el tiempo necesario para completar la encuesta.
- En aquel momento, la climatología era un atributo con tres niveles: despejado, lluvia y nieve. No obstante, se indicó que en Vitoria-Gasteiz únicamente nieva de forma significativa unas dos veces al año, por lo que se eliminó el nivel de atributo nieve.

II.E) Sorteos de las campañas de encuestas

Los sorteos se realizaron en actos públicos bajo la supervisión del Secretario de TRANSyT, en la biblioteca Rafael Izquierdo. Se contó con una relación de los números correspondientes a las respuestas recibidas hasta las 12:00 horas del día del sorteo, que se firmó y selló públicamente. Se dispuso una urna con la relación de números, obteniendo un total de cinco números, el ganador y cuatro suplentes, fijando un plazo de dos semanas para reclamar el premio.

- **Campaña de encuestas piloto en Madrid.** El sorteo se realizó el 3 de diciembre de 2015 a las 13:30 horas. El 14 de diciembre de 2015 se hizo entrega del premio, por valor de 100€, en la biblioteca Rafael Izquierdo de TRANSyT al encuestado número 667.900.427.
- **Campaña de encuestas piloto en Vitoria-Gasteiz.** El sorteo se llevó a cabo el 16 de diciembre de 2015. Se hizo entrega del premio, por valor de 100€, el 19 de enero de 2016 en el Centro de Estudios Ambientales de Vitoria-Gasteiz al encuestado número 62.313.865.
- **Campaña de encuestas definitivas en Madrid.** El sorteo se realizó el 3 de junio de 2016 a las 12:00 horas. El incentivo consistía en una Tablet Samsung Galaxy Tab A 9,7" Wi-Fi 16 Gb, valorada en 200€, o un cheque regalo de valor equivalente. El 13 de junio de 2016 se hizo entrega del premio (Tablet) en la biblioteca Rafael Izquierdo de TRANSyT al encuestado número 415.879.459.
- **Campaña de encuestas definitivas en Vitoria-Gasteiz.** El sorteo se llevó a cabo el 3 de junio de 2016 a las 12:00 horas. El incentivo consistía en una Tablet Samsung Galaxy Tab A 9,7" Wi-Fi 16 Gb, valorada en 200€, o un cheque regalo de valor equivalente. La entrega del premio (cheque regalo) se realizó el 20 de junio de 2016 en el Centro de Estudios Ambientales de Vitoria-Gasteiz al encuestado número 291.794.528.

II.F) Comandos del software Limdep NLogit

A continuación, se detallan los comandos más importantes utilizados en la sintaxis del software Limdep NLogit para crear los modelos MNL y ECL de los dos casos de estudio:

- **'RESET'**. Al comienzo de la sintaxis debe incluirse este comando para resetear el modelo de cálculos anteriores.
- **'file'**. Indica la ruta de la base de datos. Debe ir precedido del comando **'READ';** que indica al software que comienza la sintaxis del modelo.
- **';Nobs'**. Especifica el número de filas de la base de datos.
- **';Nvar'**. Especifica el número de columnas o atributos de la base de datos.
- **';Format'**. Especifica el formato de la base de datos.
- **'Dstats'**. Indica al software que calcule la media, desviación típica y los valores máximos y mínimos de los atributos.
- **'NLOGIT'**. Indica el comienzo de la especificación del modelo.
- **';lhs'**. Especifica las variables dependientes del modelo.
- **';choices'**. Especifica las alternativas del modelo.
- **';ecm'**. Indica al software que debe estimar un modelo ECL.
- **'pds'**. Indica el número de situaciones de elección al que se enfrenta cada encuestado.
- **';model'**. Indica el comienzo de la especificación de las funciones de utilidad con las variables independientes de las alternativas del modelo.

II.G) Sintaxis de generación del modelo MNL piloto de Madrid en Limdep NLogit

```
RESET
READ;
file='C:\.....'
;Nobs=2000; Nvar=79; names=1; Format=XLS $
Dstats;rhs=*;str=alternat;$
NLOGIT
;lhs=elegida,nalt,alternat;choices=T0,T1,T2
;Checkdata ;Model:
U(T0) =
    tveh00 * etveh0
    + mode00 * emode0/
U(T1) = constant1 + tveh01 * etveh0
    + mode01 * emode0
    + twalk11 * etwalk1
    + twait11 * etwait1
    + stair11 * estair1
    + tveh11 * etveh1
    + mode11 * emode1
    + info1 * einfo
    + crowd1 * ecrowd
    + numtr1 * num_tran/
U(T2) = constant2 + tveh02 * etveh0
    + mode02 * emode0
    + twalk12 * etwalk1
    + twait12 * etwait1
    + stair12 * estair1
    + tveh12 * etveh1
    + mode12 * emode1
    + twalk22 * etwalk2
    + twait22 * etwait2
    + stair22 * estair2
    + tveh22 * etveh2
    + mode22 * emode2
    + info2 * einfo
    + crowd2 * ecrowd
    + numtr2 * num_tran$
```

II.H) Sintaxis de generación del modelo MNL piloto de Vitoria-Gasteiz en Limdep NLogit

```

RESET
READ;
file="C:\....."
;Nobs=500; Nvar=49; names=1; Format=XLS
$
Dstats;rhs=*;str=alternat;$
NLOGIT
;lhs=elegida,nalt,alternat;choices=T0,T1
;Checkdata
;Model:
U(T0) =
    tacc0 * etacc
    + tveh00 * etveh0
    + mode00 * emode0
    + tegr0 * etegr/
U(T1) = constant1
    + tacc1 * etacc
    + tveh01 * etveh0
    + mode01 * emode0
    + twalk1 * etwalk1
    + twait1 * etwait1
    + tveh1 * etveh1
    + mode1 * emode1
    + tegr1 * etegr
    + info * einfo
    + weather * eweather$

```

II.I) Sintaxis de la generación del experimento definitivo de PD de Madrid en Ngene

```

Design
;alts = T0, T1, T2;rows = 18
;eff = (mnl,d);alg = mfederov(candidates=1000);block = 3
;require:
t1.tveh01 + t1.tcam11 + t1.tesp11 + t1.tveh11 < t0.tveh00 -3,
t1.tveh01 + t1.tcam11 + t1.tesp11 + t1.tveh11 > t0.tveh00 -10,
t2.tveh02 + t2.tcam12 + t2.tesp12 + t2.tveh12 + t2.tcam22 + t2.tesp22 < t1.tveh01 +
t1.tcam11 + t1.tesp11 + t1.tveh11 -3,
t2.tveh02 + t2.tcam12 + t2.tesp12 + t2.tveh12 + t2.tcam22 + t2.tesp22 > t1.tveh01 +
t1.tcam11 + t1.tesp11 + t1.tveh11 -10
;model:
U(T0) = tveh00[-0.3573] * tveh00[35,40,45]
    + modo00[0.5000] * modo0[0,1]/
U(T1) = ctet1[-3.9160]
    + tveh01[-0.3705] * tveh01[9,12,15]
    + modo01[0.6236] * modo0
    + tcam11[-0.3407] * tcam11[2,4,6]
    + tesp11[-0.3320] * tesp11[2,5,8]
    + esc11[-0.7000] * esc1[0,1]
    + tveh11[-0.3448] * tveh11[9,12,15]
    + modo11[0.6000] * modo1[0,1]
    + info1[0.7000] * info[0,1]
    + crowd1[-1.0272] * crowd1[0,1]/
U(T2) = ctet2[-5.7962]
    + tveh02[-0.3255] * tveh02[4,7,10]
    + modo02[1.5000] * modo0
    + tcam12[-0.3570] * tcam12[2,3,4]
    + tesp12[-0.4379] * tesp12[1,3,5]
    + esc12[-1.1385] * esc1
    + tveh12[-0.4372] * tveh12[4,7,10]
    + modo12[1.5490] * modo1
    + tcam22[-0.9148] * tcam22[2,3,4]
    + tesp22[-0.3712] * tesp22[1,3,5]
    + esc22[-0.7091] * esc2[0,1]
    + tveh22[-0.2790] * tveh22[4,7,10]
    + modo22[1.5000] * modo2[0,1]
    + info2[0.7000] * info[0,1]
    + crowd2[-2.3642] * crowd1[0,1]$

```

II.J) Sintaxis de la generación del experimento definitivo de PD de Vitoria-Gasteiz en Ngene

```
Design
;alts = T0, T1;rows = 18
;eff = (mnl,d);alg = mfederov(candidates=1000);block = 2
;require:
t0.tacc0 + t0.tveh00 + t0.tegr0 < 25,
t0.tacc0 + t0.tveh00 + t0.tegr0 > 18,
t1.tcaml + t1.tespl + t1.tveh1 + t1.tegr1 < t0.tegr0 + 5,
t1.tcaml + t1.tespl + t1.tveh1 + t1.tegr1 > t0.tegr0 - 5
;model:
U(T0) = tegr0[-0,3] * tegr0[12,14,16]/
U(T1) = ctet1[-1.5]
      + tacc1[-0.3] * tacc1[0,1,2]
      + tveh01[-0.2] * tveh01[6,8,10]
      + modo01[0.5] * modo0[0,1]
      + tcaml[-0.4] * tcaml[0,1,2]
      + tespl[-0.3] * tespl[2,3,5]
      + tveh1[-0.25] * tveh1[6,8,10]
      + modol1[0.5] * modol[0,1]
      + tegr1[-0.3] * tegr1[0,1,2]
      + info1[1] * info[0,1]
      + atm1[1] * atm[0,1]$
```


ANEXO III. Análisis descriptivo de las encuestas piloto

Encuesta piloto de Madrid

De las 79 respuestas válidas obtenidas, el 56% de los encuestados eran mujeres, la media de edad era de 31 años y la renta media se encontraba entre 1.000 y 2.000 euros. Respecto a la ocupación, el 64% de los encuestados estaban empleados y el 34% eran estudiantes, tal y como muestra la Figura III.1.

Figura III.1. Ocupación de los encuestados (Madrid).

Los encuestados cumplían la condición de utilizar habitualmente el TP para sus desplazamientos en la ciudad. El motivo de sus viajes habituales era, en un 99% de los casos, ir al centro de trabajo o estudios. La Figura III.2 confirma que transbordar en Madrid es habitual. Un 44% de los encuestados declararon no realizar ningún transbordo; el 56% restante sí. La media es de 0,72 transbordos por persona y viaje. Como se puede observar, el 41% de los participantes afirmó transbordar habitualmente en una ocasión, mientras que un 14% y un 1% declararon que realizaban dos y tres transferencias, respectivamente.

Figura III.2. Porcentaje de encuestados por número de transbordos (Madrid).

La duración media del viaje fue de 35 minutos de puerta a puerta. La Figura III.3 muestra la distribución del tiempo de viaje de la muestra. Casi el 50% de los viajes tiene una duración igual o menor de 30 minutos. En cambio, un porcentaje inferior al 5% de los encuestados dedica a sus viajes más de una hora.

Figura III.3. Distribución de los viajes según su duración (Madrid).

La Figura III.4 muestra el tiempo medio que se dedica a las etapas del transbordo: acceso, caminando, de espera, en vehículo y dispersión, según el número de transferencias realizadas. El tiempo total de viaje aumenta con el número de transbordos, mientras que los tiempos en vehículo y dispersión disminuyen. El acceso al primer modo de TP y la dispersión se realiza a pie en el 98% y 100% de los casos, respectivamente, y en coche particular en el resto de ocasiones.

Figura III.4. Duración media de las etapas del viaje en función del número de transbordos. Madrid.

En cuanto a la tipología del billete utilizado, el 76% de los encuestados usan una tarjeta de TP, mientras que el 20% usa un abono de 10 viajes de metrobús. El porcentaje restante se desplaza con un billete sencillo. Ninguno de los encuestados declaró viajar habitualmente con niños, y el 42% afirmó utilizar una aplicación móvil para consultar el tiempo de espera hasta la llegada del siguiente vehículo.

La Figura III.5 muestra las actividades realizadas durante el viaje. El 68% y 63% de los encuestados declararon utilizar el móvil y leer con frecuencia, respectivamente. El 35% viaja escuchando música, mientras que el 14% estudia y un 5% duerme.

Figura III.5. Actividades realizadas durante el viaje (Madrid).

En la parte de PD, el 80% y 20% de los encuestados eligieron la opción de no transbordar y realizar 1 transbordo, respectivamente, al enfrentarse a situaciones

de elección con cero y un transbordo. En elecciones entre rutas con una y dos transferencias, el 64% eligió la primera opción, mientras que el 36% restante optó por la segunda.

Encuesta piloto de Vitoria-Gasteiz

En la encuesta piloto de Vitoria-Gasteiz se obtuvieron 50 respuestas válidas. La media de edad entre los participantes era de 33 años, más de la mitad de encuestados eran mujeres (54%), y la renta media se situaba entre 1.000 y 2.000 euros. El 58% de los participantes estaban empleados, mientras que el 22% eran estudiantes y el 16% desempleados (Figura III.6).

Figura III.6. Ocupación de los encuestados (Vitoria-Gasteiz).

El 98% de los encuestados declararon utilizar habitualmente el TP para sus desplazamientos. Los motivos de viaje comprenden acudir al centro de trabajo o estudios (86%), ocio (10%) y acompañar a otra persona (4%).

El número medio de transbordos por persona y viaje es de 0,32, inferior al de Madrid. En la Figura III.7 se observa que el 72% de los encuestados afirmó no transbordar, mientras que el 24% y 4% manifestaron realizar uno y dos transbordos, respectivamente.

Figura III.7. Porcentaje de encuestados por número de transbordos (Vitoria-Gasteiz).

La duración media del viaje puerta a puerta fue de 23 minutos. En la Figura III.8 se observa la distribución del tiempo de viaje de la muestra. Cabe destacar que casi el 70% de los participantes dedica a su viaje habitual menos de 20 minutos. Solamente el 10% declaró que sus viajes duraban más de 40 minutos.

Figura III.8. Distribución de los viajes según su duración (Vitoria-Gasteiz).

La Figura III.9 muestra el tiempo medio que se dedica a las diferentes etapas del transbordo: acceso, caminando, en espera, en vehículo y dispersión, según el número de transferencias realizadas. Al contrario que Madrid, el tiempo medio en vehículo no disminuye significativamente si se opta por una ruta con mayor número de transbordos, que puede deberse a que la red de TP no está optimizada para realizar transbordos, o que la distancia de viaje cuando se realizan transbordos es

mayor que la distancia media de viaje. Por otra parte, al igual que Madrid, el tiempo de dispersión es menor conforme aumenta el número de transbordos, mientras que el tiempo total de viaje aumenta. El acceso y dispersión se realiza a pie en todos los casos.

Figura III.9. Duración media de las etapas del viaje en función del número de transbordos (Vitoria-Gasteiz).

El 90% de los encuestados declaró utilizar una tarjeta de TP, mientras que el resto utiliza un billete sencillo u otros. El 24% de los participantes manifestó viajar habitualmente con al menos un niño, que contrasta con el 0% de Madrid. También destaca el 10% de usuarios que utiliza una aplicación móvil para consultar el tiempo restante hasta la llegada del siguiente vehículo, frente al 42% de Madrid.

En la Figura III.10 se observan las actividades realizadas durante el viaje. El 58% de los encuestados utiliza el móvil mientras viaja, y tan solo un 12% lee, frente al 63% de Madrid. El porcentaje de encuestados que escucha música también es inferior al existente en Madrid, y ninguno de los participantes duerme o estudia mientras viaja, frente al 5% y 14% de Madrid, respectivamente.

Figura III.10. Actividades realizadas durante el viaje (Vitoria-Gasteiz).

En la parte de PD, el 46% de los participantes eligió la alternativa sin transbordo, mientras que el 54% restante eligió rutas con un transbordo.

ANEXO IV. Encuesta definitiva de Madrid

BIENVENID@ A LA ENCUESTA

Descripción de la encuesta

Esta encuesta forma parte del **proyecto TRANSFER** financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, y está dirigida a usuarios de transporte público de la ciudad de Madrid.

Agradecemos que le dedique unos minutos. Entre aquellas personas que completen la encuesta, se sorteará en el mes de mayo una **Tablet Samsung Galaxy Tab A 9,7 pulgadas Wi-Fi 16Gb o un cheque regalo de valor equivalente**.

Los resultados de la encuesta servirán para mejorar las políticas de movilidad de Madrid.

Gracias por participar y mucha suerte

Ocupación:

Por favor, indique su ocupación para caracterizarle como encuestado

- ☒ Empleado (por cuenta propia/ajena)
- ☐ Desempleado
- ☐ Estudiante
- ☐ Jubilado
- ☐ Otro

¿Utiliza el transporte público urbano (EMT/Metro) en su viaje al trabajo/centro de estudios?

Indique si utiliza el transporte público urbano (entendido como buses urbanos o metro, no bicicleta ni Cercanías ni buses interurbanos) en algún momento de su viaje al trabajo o centro de estudios

- ☐ Sí
- ☒ No

¿Realiza algún viaje habitual en transporte público urbano (EMT/Metro)?

Indique si realiza algún viaje de forma periódica en el que utilice el transporte público urbano (entendido como buses urbanos o metro, no bicicleta ni Cercanías, ni buses interurbanos)

- ☐ Sí
- ☒ No

Piense en el **último viaje que ha realizado en el que haya utilizado el transporte público urbano (EMT/Metro)** y responda la encuesta pensando en ese viaje. Para continuar haga clic en "siguiente"

Siguiente

Figura IV.1. Página inicial.

VIAJE HABITUAL

Piense en el **viaje en transporte público**, que se le ha indicado en la página anterior para responder a las siguientes preguntas.

Motivo del viaje:

Indique el motivo de su viaje

- ☐ Trabajo
- ☐ Estudios
- ☐ Acompañar a alguien
- ☐ Ocio
- ☒ Otros

Hora del viaje:

Indique la hora a la que suele comenzar su viaje en formato hh:mm (ej: 07:25, 09:05, 10:30...). Si es variable, indique la hora de la última vez que hizo ese viaje

11:11

¿Cuántos transbordos realiza en su viaje?

Indique el número de transbordos que realiza en su viaje, considerando como transbordo cualquier cambio de vehículo, como transbordar de metro a metro, de metro a bus, de bus a bus... etc. Considere sólo los transbordos dentro del transporte público (no coche ni bicicleta)

- ☐ Ninguno
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☒ 4 ó más

Anterior

Siguiente

Figura IV.2. Caracterización del viaje habitual (1).

INICIO DEL VIAJE

Responda a las preguntas de esta página sobre el **principio del viaje** al que se ha referido en la página anterior.

¿Cuánto tarda de puerta a puerta desde el origen hasta el destino de su viaje?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente, desde que sale por la puerta del origen de su viaje hasta que entra por la puerta del destino de su viaje. Si utiliza el coche para acceder a la red de transporte público o para llegar desde la última parada/estación a su destino, incluya también el tiempo del coche.

45 minutos

Origen de su viaje:

Indique calle, número y municipio del lugar de origen de su viaje o, en su defecto, la parada/estación de metro/bus o la zona de donde parte. Si no sabe la dirección exacta puede consultarla en la web de la Comunidad de Madrid haciendo clic aquí

Calle Guadalajara 36 A, La Piovera

¿Cómo accede a esa primera parada/andén?

Indique cómo accede desde el origen de su viaje (por ejemplo, su casa) hasta que llega al punto donde coge el primer vehículo de su viaje.

- ☒ Andando
- ☐ Bicicleta
- ☐ Coche/moto

¿Cuánto tiempo tarda desde el origen de su viaje hasta la primera parada/estación?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente, desde que sale del origen de su viaje (por ejemplo, su casa) hasta que llega al punto donde coge el primer vehículo de su viaje.

3 minutos

¿Cuánto tiempo suele esperar en la parada/estación al primer autobús/tren que coge en su viaje?

Indique cuántos minutos suele esperar en la parada/estación, aproximadamente, al primer vehículo que toma en su viaje en transporte público.

5 minutos

¿Qué modo de transporte utiliza en primer lugar?

Indique el modo de transporte que primero utiliza en su viaje

- ☒ Bus urbano
- ☐ Metro/metro ligero
- ☐ Cercanías
- ☐ Bus metropolitano

¿Cuánto tiempo dura su viaje dentro del primer bus/tren?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente desde que se monta en el primer vehículo de su viaje hasta que se baja de él.

15 minutos

Figura IV.3. Caracterización del viaje habitual (2).

PRIMER TRANSBORDO

Responda a las preguntas de esta página sobre el **primer transbordo del viaje** al que se ha referido en las páginas anteriores.

¿Cuánto tiempo emplea caminando durante el primer transbordo?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente caminando desde que se baja del anterior vehículo hasta que llega a la parada/andén donde tomará el siguiente en el primer transbordo

1 minutos

¿Cuántos tramos de escalera debe subir/bajar en el primer transbordo?

Indique el número de **tramos de escalera** que, aproximadamente, debe subir/bajar durante su primer transbordo

- ☒ Ninguno. El transbordo es al mismo nivel
- ☐ 1
- ☐ 2 ó 3
- ☐ Más de 3

¿Cuánto tiempo suele esperar en el primer transbordo?

Indique cuántos minutos, aproximadamente, debe esperar en el primer transbordo **desde que usted llega al andén/parada hasta que sube al tren/bus.**

1 minutos

¿Qué modo de transporte utiliza tras el primer transbordo?

Indique el modo de transporte que utiliza después del primer transbordo

- ☐ Bus urbano
- ☐ Metro/metro ligero
- ☒ Cercanías
- ☐ Bus metropolitano

¿Cuánto tiempo dura su viaje en el interior del vehículo que coge tras el primer transbordo?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente desde que se monta en el vehículo tras el primer transbordo hasta que se baja de él.

4 minutos

[Anterior](#) [Siguiente](#)

Figura IV.4. Caracterización del viaje habitual (3).

FINAL DEL VIAJE

Responda a las preguntas de esta página sobre el **final del viaje** al que se ha referido en las páginas anteriores.

¿Cuánto tiempo emplea desde que se baja del último vehículo hasta que llega a su destino?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente desde que se baja del último vehículo hasta que llega a su destino (ya sea andando, en bici, en coche...).

minutos

¿Cómo llega a su destino desde esa última parada/estación?

Indique cómo llega a su destino desde la última parada/estación de su viaje.

- ☐ Andando
- ☒ Bicicleta
- ☐ Coche/moto

Destino de su viaje:

Indique **calle, número y municipio** del lugar de destino de su viaje o, **en su defecto, la parada/estación de metro/bus o la zona adonde llega**. *Si no sabe la dirección exacta puede consultarla en la web de la Comunidad de Madrid haciendo clic aquí*

[Anterior](#) [Siguiente](#)

Figura IV.5. Caracterización del viaje habitual (4).

DATOS GENERALES SOBRE EL VIAJE

Responda a las preguntas de esta página sobre el viaje al que se ha referido en las páginas anteriores.

¿Qué tipo de billete utiliza en el viaje?:

Indique el tipo de billete que utiliza en el viaje al que se ha referido en las páginas anteriores

- ☐ Billeto sencillo
- ☐ Metrobús
- ☐ Tarjeta Transporte Joven
- ☐ Tarjeta Transporte Adulto
- ☒ Tarjeta Transporte Tercera Edad
- ☐ Tarjeta Transporte Anual
- ☐ Otro

¿Cuál es la zona de la tarjeta de transporte público que utilizó durante el viaje?

Indique la zona de validez de la tarjeta de transporte público que utiliza en el viaje al que se ha referido en las páginas anteriores.

- ☐ Zona A
- ☐ Zona B1
- ☐ Zona B2
- ☐ Zona B3
- ☐ Zona C1
- ☐ Zona E1
- ☒ Zona E2

¿Realiza su viaje acompañado de algún niño pequeño (hijo, nieto... etc)

Indique si en el viaje va acompañado de algún niño pequeño, ya sea cogido en brazos, en camita... etc

- ☒ Sí
- ☐ No

¿Utiliza algún tipo de aplicación móvil para ver cuánto tiempo falta para el siguiente tren o autobús?

Indique si dispone y utiliza cualquier tipo de aplicación en su teléfono móvil que le indique los tiempos que faltan para la llegada del siguiente tren o autobús

- ☒ Sí
- ☐ No

En alguna de las paradas, ¿hay paneles que le indiquen cuánto tiempo falta para que llegue el siguiente bus/tren?

Indique si en cualquiera de los transbordos que utiliza dispone de paneles que le indiquen cuánto tiempo queda para que llegue el siguiente tren/bus

05 min

- ☒ Sí
- ☐ No

¿Cree que los transbordos que utiliza están bien señalizados?

Indique si, en su opinión, en los transbordos que utiliza hay suficiente información y ésta se entiende fácilmente

- ☒ Sí
- ☐ No

¿Realiza algún tipo de actividad durante el viaje?

Indique si, mientras está dentro de los vehículos aprovecha el tiempo para realizar alguno de los tipos de actividad que se indican abajo. Puede marcar varias opciones o no marcar ninguna

- ☐ Leer
- ☐ Dormir
- ☐ Estudiar
- ☐ Escuchar música
- ☒ Usar el móvil
- ☒ Otros
- ☒ Ninguna

Figura IV.6. Datos generales sobre el viaje.

ELECCIÓN DE RUTAS

Supongamos...

A continuación le vamos a pedir que haga un ejercicio de imaginación:

En cada una de las siguientes páginas se le van a mostrar dos opciones de viaje. Le pedimos que **imagine** que en el viaje al que se ha referido anteriormente **existen estas dos alternativas, y sólo ellas**, y que indique cuál de las dos elegiría en cada uno de los casos.

Pulse "siguiente" para comenzar.

Anterior Siguiente

Figura IV.7. Introducción a las situaciones de elección.

Elección 1 de 6

Imagínese que existieran únicamente las siguientes opciones para realizar el viaje al que se ha referido en las páginas anteriores.

¿Cuál de las dos opciones elegiría?

Si necesita ayuda con alguno de los iconos, sitúe el ratón encima del icono y aparecerá un globo con una explicación detallada del mismo

Opción A

Opción B

Opción A Opción B

Figura IV.8. Ejemplo de una situación de elección.

IMPORTANCIA Y GRADO DE SATISFACCIÓN

En esta página indique, respecto de cada uno de los conceptos que se le presentan, qué importancia le da a la hora de hacer el transbordo y cuál es su grado de satisfacción actual con los mismos en el transbordo

Existencia de información en tiempo real en el transbordo, mediante pantallas o mediante aplicaciones móviles que indiquen el tiempo que falta para que llegue el siguiente autobús/tren

Cobertura de teléfono móvil en el transbordo

Que la parada esté resguardada de la lluvia, del viento... etc

Que haya asientos libres en la parada/andén donde debe esperar

Importancia y satisfacción del transbordo en general dentro del total del viaje

Siguiente

Figura IV.9. Importancia y grado de satisfacción.

DATOS FINALES

Género:

- ☒ Hombre
☐ Mujer

Edad:

Indique su edad en años

años

¿Cuál es su nivel de estudios terminados?:

Indique cuál es el mayor nivel de estudios que ha terminado

- ☒ Ninguno
☐ EGB/GRADUADO escolar
☐ Bachillerato superior/BUP/COU
☐ Formación Profesional
☐ Estudios universitarios

Rango de ingresos mensuales netos del hogar:

Indique aproximadamente el rango de ingresos mensuales netos en su hogar

- ☐ Menos de 1.000 €
☐ de 1.000 a menos de 2.000€
☐ de 2.000 a menos de 3.000 €
☐ de 3.000 a menos de 5.000 €
☒ 5.000 ó más €

¿Cuántas personas viven en su hogar?

Indique el número de personas (incluido usted) que viven en su hogar

personas

E-mail:

Indique un e-mail, si dispone de él, donde podamos contactar con usted en caso de resultar ganador del premio. Debe indicar al menos el e-mail o el teléfono

Teléfono:

Indique un teléfono de contacto, donde podamos contactar con usted en caso de resultar ganador del premio. Debe indicar al menos el e-mail o el teléfono

Comentarios adicionales:

Escriba aquí cualquier comentario adicional que quiera aportar sobre el transporte público de la ciudad

[Anterior](#) [Siguiente](#)

Figura IV.10. Datos socioeconómicos.

ENCUESTA FINALIZADA

Gracias por participar:

Por haberla completado entra automáticamente en el sorteo de una **Tablet Samsung Galaxy Tab A 9,7 pulgadas Wi-Fi 16Gb o un cheque regalo de valor equivalente.**

El sorteo tendrá lugar un día aún por determinar del mes de mayo de 2016 entre todos aquellos que hayan completado una encuesta válida.

Usted participa en el sorteo con el siguiente número:

541443008

En cualquier caso, en el mes de mayo nos pondremos en contacto con usted por e-mail para confirmarle el día del sorteo.

¡Mucha suerte!

Figura IV.11. Última página.

ANEXO V. Encuesta definitiva de Vitoria-Gasteiz

BIENVENID@ A LA ENCUESTA

Descripción de la encuesta

Esta encuesta forma parte del **proyecto TRANSFER** financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, y está dirigida a usuarios de transporte público de la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

Agradecemos que le dedique unos minutos. Entre aquellas personas que completen la encuesta, se sorteará en el mes de mayo una Tablet Samsung Galaxy Tab A 9,7 pulgadas Wi-Fi 16Gb o un cheque regalo de valor equivalente.

Los resultados de la encuesta servirán para mejorar las políticas de movilidad de la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

Gracias por participar y mucha suerte

Ocupación:

Por favor, indique su ocupación para caracterizarle como encuestado

- ☒ Empleado (por cuenta propia/ajena)
- ☐ Desempleado
- ☐ Estudiante
- ☐ Jubilado
- ☐ Otro

¿Utiliza el transporte público urbano (TUVISA/tranvía) en su viaje al trabajo/centro de estudios?

Indique si utiliza el transporte público urbano (solamente buses urbanos o tranvía, no bicicleta ni buses interurbanos) en algún momento de su viaje al trabajo o centro de estudios

- ☒ Sí
- ☐ No

Piense en el viaje **de su casa al trabajo/centro de estudios** y responda la encuesta pensando en ese viaje. Para continuar haga clic en "siguiente"

Siguiente

Figura V.1. Página inicial.

VIAJE HABITUAL

Piense en el **viaje en transporte público**, que se le ha indicado en la página anterior para responder a las siguientes preguntas.

Motivo del viaje:
Indique el motivo de su viaje

- ☒ Trabajo
- ☐ Estudios
- ☐ Acompañar a alguien
- ☐ Ocio
- ☐ Otros

Hora del viaje:
Indique la hora a la que suele comenzar su viaje en formato hh:mm (ej: 07:25, 09:05, 10:30...). Si es variable, indique la hora de la última vez que hizo ese viaje

¿Cuántos transbordos realiza en su viaje?
Indique el número de transbordos que realiza en su viaje, considerando como transbordo cualquier cambio de vehículo, como transbordar de tranvía a tranvía, de tranvía a bus, de bus a bus... etc. Considere sólo los transbordos dentro del transporte público (no coche ni bicicleta)

- ☒ Ninguno
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3 o más

Anterior

Siguiente

6%

Figura V.2. Caracterización del viaje habitual (1).

VIAJE HABITUAL

Responda a las preguntas de esta página sobre el **principio del viaje** al que se ha referido en la página anterior.

¿Cuánto tarda de puerta a puerta desde el origen hasta el destino de su viaje?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente, desde que sale por la puerta del origen de su viaje hasta que entra por la puerta del destino de su viaje. Si utiliza el coche para acceder a la red de transporte público o para llegar desde la última parada a su destino, incluya también el tiempo del coche.

1 minutos

Origen de su viaje:

Indique **calle, número y municipio** del lugar de origen de su viaje o, en su defecto, la parada de tranvía/bus o la zona de donde parte. Si no sabe la dirección exacta puede consultarla en la web del ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz haciendo clic aquí

mi casa

¿Cómo accede a esa primera parada/andén?

Indique cómo accede desde el origen de su viaje (por ejemplo, su casa) hasta que llega al punto donde coge el primer vehículo de su viaje.

- ☐ Andando
☐ Bicicleta
☒ Coche/moto

¿Cuánto tiempo tarda desde el origen de su viaje hasta la primera parada?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente, desde que sale del origen de su viaje (por ejemplo, su casa) hasta que llega al punto donde coge el primer vehículo de su viaje.

10 minutos

¿Cuánto tiempo suele esperar en la parada al autobús/tranvía?

Indique cuántos minutos suele esperar en la parada, aproximadamente.

100 minutos

¿Qué modo de transporte utiliza en su viaje?

Indique qué modo de transporte utiliza en su viaje

- ☐ Bus
☒ Tranvía

¿Cuánto tiempo está dentro del bus/tranvía?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente desde que se monta en el bus/tranvía hasta que se baja de él.

0 minutos

Anterior Siguiente

Figura V.3. Caracterización del viaje habitual (2).

PRIMER TRANSBORDO

Responda a las preguntas de esta página sobre el **primer transbordo del viaje** al que se ha referido en las páginas anteriores.

¿Cuánto tiempo emplea caminando durante el primer transbordo?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente caminando desde que se baja del anterior vehículo hasta que llega a la parada/andén donde tomará el siguiente en el primer transbordo

minutos

¿Cuánto tiempo suele esperar en el primer transbordo?

Indique cuántos minutos, aproximadamente, debe esperar en el primer transbordo desde que usted llega al andén/parada hasta que sube al tranvía/bus.

minutos

¿Qué modo de transporte utiliza tras el primer transbordo?

Indique el modo de transporte que utiliza después del primer transbordo

☒ Bus

☐ Tranvía

¿Cuánto tiempo dura su viaje en el interior del vehículo que coge tras el primer transbordo?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente desde que se monta en el vehículo tras el primer transbordo hasta que se baja de él.

minutos

Anterior

Siguiente

17%

Figura V.4. Caracterización del viaje habitual (3).

FINAL DEL VIAJE

Responda a las preguntas de esta página sobre el **final del viaje** al que se ha referido en las páginas anteriores.

¿Cuánto tiempo emplea desde que se baja del último vehículo hasta que llega a su destino?

Indique los minutos que tarda, aproximadamente desde que se baja del último vehículo hasta que llega a su destino (ya sea andando, en bici, en coche...).

minutos

¿Cómo llega a su destino desde esa última parada?

Indique cómo llega a su destino desde la última parada de su viaje.

- ☐ Andando
- ☒ Bicicleta
- ☐ Coche/moto

Destino de su viaje:

Indique **calle, número y municipio** del lugar de destino de su viaje o, **en su defecto, la parada de tranvía/bus o la zona a donde llega**. Si no sabe la dirección exacta puede consultarla en la web del ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz haciendo clic aquí

[Anterior](#)

[Siguiente](#)

22%

Figura V.5. Caracterización del viaje habitual (4).

DATOS GENERALES SOBRE EL VIAJE

Responda a las preguntas de esta página sobre el viaje al que se ha referido en las páginas anteriores.

¿Qué tipo de billete utiliza en el viaje?:

Indique el tipo de billete que utiliza en el viaje al que se ha referido en las páginas anteriores

☒ Billete de ida

☐ Billete de ida y vuelta

☐ Tarjeta BAT normal

☐ Tarjeta BAT tercera edad (berezi)

☐ Tarjeta BAT familia numerosa

☐ Tarjeta BAT familia numerosa especial

☐ Otro

¿Realiza su viaje acompañado de algún niño pequeño (hijo, nieto... etc)

Indique si en el viaje va acompañado de algún niño pequeño, ya sea cogido en brazos, en carrito... etc

☒ Sí

☐ No

¿Utiliza algún tipo de aplicación móvil para ver cuánto tiempo falta para el siguiente tranvía o autobús?

Indique si dispone y utiliza cualquier tipo de aplicación en su teléfono móvil que le indique los tiempos que faltan para la llegada del siguiente tranvía o autobús

☒ Sí

☐ No

En alguna de las paradas, ¿hay paneles que le indiquen cuánto tiempo falta para que llegue el siguiente bus/tranvía?

Indique si en cualquiera de los transbordos que utiliza dispone de paneles que le indiquen cuánto tiempo queda para que llegue el siguiente tranvía/bus

05 min

☒ Sí

☐ No

¿Cree que los transbordos que realiza están bien señalizados?

Indique si, en su opinión, en los transbordos que utiliza hay suficiente información y ésta se entiende fácilmente

☒ Sí

☐ No

¿Realiza algún tipo de actividad durante el viaje?

Indique si, mientras está dentro de los vehículos aprovecha el tiempo para realizar alguna de las actividades que se indican abajo. Puede marcar varias opciones o no marcar ninguna

☐ Leer

☐ Dormir

☒ Estudiar

☐ Escuchar música/radio

☐ Usar el móvil

☐ Otros

☐ Ninguna

Anterior

Siguiente

28%

Figura V.6. Datos generales sobre el viaje.

- 240 -

ELECCIÓN DE RUTAS

Supongamos...

A continuación le vamos a pedir que haga un ejercicio de imaginación:

En cada una de las siguientes páginas se le van a mostrar dos opciones de viaje. Le pedimos que **imagine** que en el viaje al que se ha referido anteriormente **existen estas dos alternativas, y sólo ellas**, y que indique cuál de las dos elegiría en cada uno de los casos.

Pulse "siguiente" para comenzar.

[Anterior](#) [Siguiente](#)

Figura V.7. Introducción a las situaciones de elección.

ELIJA UNA RUTA

Elección 1 de 9

Imagínese que existieran únicamente las siguientes opciones para realizar el viaje al que se ha referido en las páginas anteriores.

¿Cuál de las dos opciones elegiría?

Si necesita ayuda con alguno de los iconos, sitúe el ratón encima del icono y aparecerá un globo con una explicación detallada del mismo

Opción A: llueve

Opción B: llueve

[Opción A](#) [Opción B](#)

Figura V.8. Ejemplo de una situación de elección.

IMPORTANCIA Y GRADO DE SATISFACCIÓN

En esta página indique, respecto de cada uno de los conceptos que se le presentan, qué importancia le da a la hora de hacer el transbordo y cuál es su grado de satisfacción actual con los mismos en el transbordo

Existencia de información en tiempo real en el transbordo, mediante pantallas o mediante aplicaciones móviles que indiquen el tiempo que falta para que llegue el siguiente autobús/tren

Que la parada esté resguardada de la lluvia, del viento... etc

Que haya asientos libres en la parada/andén donde debe esperar

Importancia y satisfacción del transbordo en general dentro del total del viaje

Siguiente

Figura V.9. Importancia y grado de satisfacción.

DATOS FINALES

Género:

- ☐ Hombre
☐ Mujer

Edad:

Indique su edad en años

años

¿Cuál es su nivel de estudios terminados?:

Indique cuál es el mayor nivel de estudios que ha terminado

- ☐ Ninguno
☐ EGB/GRADUADO escolar
☐ Bachillerato superior/BUP/COU
☐ Formación Profesional
☐ Estudios universitarios

Rango de ingresos mensuales netos del hogar:

Indique **aproximadamente** el rango de ingresos mensuales netos en su hogar

- ☐ Menos de 1.000 €
☐ de 1.000 a menos de 2.000€
☐ de 2.000 a menos de 3.000 €
☐ de 3.000 a menos de 5.000 €
☐ 5.000 ó más €

¿Cuántas personas viven en su hogar?

Indique el número de personas (incluido usted) que viven en su hogar

personas

E-mail:

Indique un e-mail, si dispone de él, donde podamos contactar con usted en caso de resultar ganador del premio. Debe indicar al menos el e-mail o el teléfono

Teléfono:

Indique un teléfono de contacto, donde podamos contactar con usted en caso de resultar ganador del premio. Debe indicar al menos el e-mail o el teléfono

Comentarios adicionales:

Escriba aquí cualquier comentario adicional que quiera aportar sobre el transporte público de la ciudad

[Anterior](#) [Siguiente](#)

Figura V.10. Datos socioeconómicos.

ENCUESTA FINALIZADA

Gracias por participar:

Por haberla completado entra automáticamente en el sorteo de una Tablet Samsung Galaxy Tab A 9,7 pulgadas Wi-Fi 16Gb o un cheque regalo de valor equivalente.

El sorteo tendrá lugar un día aún por determinar del mes de mayo de 2016 entre todos aquellos que hayan completado una encuesta válida.

Usted participa en el sorteo con el siguiente número:

468685669

En cualquier caso, en el mes de mayo nos podremos en contacto con usted por e-mail para confirmarle el día del sorteo.

¡Mucha suerte!

(La encuesta ha terminado. Puede cerrar la página si así lo desea.)

Figura V.11. Última página.

ANEXO VI. Calibración de los modelos Logit con Componentes de Error

Ajuste del modelo ECL de Madrid

En primer lugar, se estimó un modelo MNL como elemento de control (Tabla VI.1). Se introdujeron las variables de escenario incluidas en las funciones de utilidad y la variable personal *número de transbordos realizados habitualmente*. Se observa que algunos parámetros de atributos no son significativos ($p\text{-valor} > 0,05$): modo, escaleras, información en tiempo real y número de transbordos en $U(T_1)$; y modo tiempo caminando en el segundo transbordo, escaleras y número de transbordos en $U(T_2)$. La significatividad del estimador *Chi squared* indica que las variables independientes son significativas y que explican la varianza de la variable dependiente del modelo. Este es el punto de partida sobre el que añadir, modificar y descartar variables, con el fin de calibrar un modelo que maximice el valor de la función de MV.

En la revisión literaria se identificó que el *modo* era significativo en la percepción de los transbordos. Sin embargo, las variables relacionadas con el modo no eran relevantes en $U(T_1)$ y $U(T_2)$ en el primer paso de la calibración del modelo. Por ello, se decidió incluir variables *dummy* para captar la percepción de la transferencia entre autobús-metro, metro-autobús y metro-metro, con autobús-autobús como referencia, lo que disminuyó el valor de la función de MV. Se definió una nueva variable de modo a partir de la existente: *intermodalidad*, que toma valor 1 si el transbordo se realiza entre metro-autobús o viceversa, y 0 en cualquier otro caso. Es decir, se calculó una variable binaria que indica si el transbordo se realiza entre el mismo modo.

Tabla VI.1. Calibración del modelo definitivo en Madrid. Modelo MNL (1).

Función de utilidad		Variables	Parámetro	p-valor
U (T ₀): sin transbordo (1.557 observaciones)	mode00	Modo	,4656	,0023*
	tveh00	Tiempo en vehículo	-,2416	,0000*
	constant1	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-2,9303	,0006*
	mode01	Primer modo	,6230	,0000*
	mode11	Último modo	,0352	,7960
	tveh01	Tiempo en el primer vehículo	-,1866	,0001*
U (T ₁): un transbordo (2.754 observaciones)	tveh11	Tiempo en el último vehículo	-,2643	,0000*
	twalk11	Tiempo caminando	-,2390	,0000*
	twait11	Tiempo de espera	-,2415	,0000*
	stair11	Escaleras	,0164	,8856
	info1	Información en tiempo real	,0701	,5975
	crowd1	Aglomeración de personas	-,9770	,0000*
	numtr1	Número de transbordos realizados habitualmente	-,0466	,5410
	constant2	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-6,0617	,0000*
	mode02	Primer modo	,2776	,2322
	mode12	Segundo modo	,8468	,0010*
U (T ₂): dos transbordos (1.197 observaciones)	mode22	Último modo	,3646	,1308
	tveh02	Tiempo en el primer vehículo	-,1607	,0025*
	tveh12	Tiempo en el segundo vehículo	-,2597	,0002*
	tveh22	Tiempo en el último vehículo	-,1921	,0002*
	twalk12	Tiempo caminando en el primer transbordo	-,3197	,0036*
	twalk22	Tiempo caminando en el segundo transbordo	-,2080	,1592
	twait12	Tiempo de espera en el primer transbordo	-,2765	,0002*
	twait22	Tiempo de espera en el segundo transbordo	-,3564	,0000*
	stair12	Escaleras en el primer transbordo	-,0296	,8874
	stair22	Escaleras en el segundo transbordo	-,2718	,1751
	info2	Información en tiempo real	,4160	,0386*
	crowd2	Aglomeración de personas	-1,0023	,0020*
	numtr2	Número de transbordos realizados habitualmente	,2603	,0593**
Función de máxima verosimilitud = -1658,153				
Chi squared = 2170,071 (27 grados de libertad) (Sig. = ,0000)				

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

La Tabla VI.2 muestra el siguiente paso de la calibración del modelo con la variable intermodalidad. Esta fue significativa en U(T₁) y U(T₂) y, además, la función de MV arrojó un valor superior al del modelo anterior (-1656 > -1658), indicando un mejor ajuste. Por otra parte, el atributo *tiempo caminando en el segundo transbordo* en U(T₂) pasó a ser significativa⁴. La significatividad del resto de atributos no experimentó ningún cambio. El estimador *Chi squared* siguió siendo significativo, por lo que este paso de calibración se dio por válido. De esta forma, se obtiene un modelo MNL de control con las variables principales ajustadas, que son las incluidas

4 En el proceso de calibración se pueden observar cambios de este tipo. En cada mejora, el modelo, estima de nuevo los valores de los parámetros de atributos a partir de la función de MV. A lo largo de la calibración, sus valores y significatividad tienden a reflejar el fenómeno real de forma más precisa.

en las funciones de utilidad. En este punto, se especificó al software Limdep NLogit que estimara un modelo ECL con los mismos atributos.

Tabla VI.2. Calibración del modelo definitivo en Madrid. Modelo MNL (2).

Función de utilidad		Variables	Parámetro	p-valor
U (T ₀): sin transbordo (1.557 observaciones)	mode00	Modo	,7041	,0000*
	tveh00	Tiempo en vehículo	-,2829	,0000*
	constant1	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-3,6755	,0001*
	interm11	Intermodalidad	-,5096	,0041*
U (T ₁): un transbordo (2.754 observaciones)	tveh01	Tiempo en el primer vehículo	-,1937	,0001*
	tveh11	Tiempo en el último vehículo	-,2820	,0000*
	twalk11	Tiempo caminando	-,2109	,0001*
	twait11	Tiempo de espera	-,2591	,0000*
	stair11	Escaleras	,1273	,2653
	info1	Información en tiempo real	,0964	,4665
	crowd1	Aglomeración de personas	-,9065	,0000*
	numtr1	Número de transbordos realizados habitualmente	-,0461	,5410
	constant2	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-4,122	,0000*
	interm12	Intermodalidad en el primer transbordo	-,5688	,0130*
U (T ₂): dos transbordos (1.197 observaciones)	interm22	Intermodalidad en el segundo transbordo	-,9119	,0004*
	tveh02	Tiempo en el primer vehículo	-,2176	,0003*
	tveh12	Tiempo en el segundo vehículo	-,2630	,0002*
	tveh22	Tiempo en el último vehículo	-,2054	,0002*
	twalk12	Tiempo caminando en el primer transbordo	-,2702	,0146*
	twalk22	Tiempo caminando en el segundo transbordo	-,3905	,0235*
	twait12	Tiempo de espera en el primer transbordo	-,2670	,0005*
	twait22	Tiempo de espera en el segundo transbordo	-,3099	,0002*
	stair12	Escaleras en el primer transbordo	-,2539	,3244
	stair22	Escaleras en el segundo transbordo	-,4292	,0514**
	info2	Información en tiempo real	,5718	,0188*
	crowd2	Aglomeración de personas	-1,0853	,0005*
	numtr2	Número de transbordos realizados habitualmente	,2640	,0553**

Función de máxima verosimilitud = -1656,011

Chi squared = 2189,243 (25 grados de libertad) (Sig. = ,0000)

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

La estimación del modelo MNL de control con una especificación ECL se muestra en la Tabla VI.3. Este paso aumentó el valor de la función de MV, mejorando el ajuste del modelo. Este hecho es esperable, pues el modelo ECL, al contrario que un MNL, considera la posibilidad de correlación de respuestas. Además, el atributo *número de transbordos realizados habitualmente* pasó a ser significativo en U(T₂). El valor de *Chi squared* era significativo y el del estimador $\tilde{R}^2$ de McFadden indica que la bondad del ajuste era excelente, por lo que se validó este paso.

Tabla VI.3. Calibración del modelo definitivo en Madrid. Modelo ECL (1).

Función de utilidad		Variables	Parámetro	p-valor
U (T ₀): sin transbordo (1.557 observaciones)	mode00	Modo	1,0298	,0001*
	tveh00	Tiempo en vehículo	-,4056	,0000*
	constant1	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-5,4143	,0014*
	interm11	Intermodalidad	-,7548	,0092*
	tveh01	Tiempo en el primer vehículo	-,2686	,0001*
U (T ₁): un transbordo (2.754 observaciones)	tveh11	Tiempo en el último vehículo	-,4020	,0000*
	twalk11	Tiempo caminando	-,2997	,0002*
	twait11	Tiempo de espera	-,3695	,0000*
	stair11	Escaleras	,2325	,2472
	info1	Información en tiempo real	,1167	,5244
	crowd1	Aglomeración de personas	-1,3245	,0000*
	numtr1	Número de transbordos realizados habitualmente	-,1012	,5958
	constant2	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-7,2484	,0003*
	interm12	Intermodalidad en el primer transbordo	-,7987	,0137*
	interm22	Intermodalidad en el segundo transbordo	-1,2225	,0015*
U (T ₂): dos transbordos (1.197 observaciones)	tveh02	Tiempo en el primer vehículo	-,3367	,0006*
	tveh12	Tiempo en el segundo vehículo	-,3980	,0001*
	tveh22	Tiempo en el último vehículo	-,2945	,0005*
	twalk12	Tiempo caminando en el primer transbordo	-,3254	,0324*
	twalk22	Tiempo caminando en el segundo transbordo	-,5781	,0193*
	twait12	Tiempo de espera en el primer transbordo	-,3690	,0006*
	twait22	Tiempo de espera en el segundo transbordo	-,4475	,0007*
	stair12	Escaleras en el primer transbordo	-,4850	,2194
	stair22	Escaleras en el segundo transbordo	-,5768	,0703**
	info2	Información en tiempo real	,6877	,0303*
	crowd2	Aglomeración de personas	-1,3533	,0022*
	numtr2	Número de transbordos realizados habitualmente	,2738	,0477*

Función de máxima verosimilitud = -1490,116

Pseudo R cuadrado de McFadden = ,5075

Chi squared = 3070,924 (30 grados de libertad) (Sig. = ,0000)

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

Este modelo, con las variables principales ajustadas siguiendo una especificación ECL, es la base para introducir nuevas variables que mejoren la bondad de su ajuste. A continuación, se introdujeron aleatoriamente y por grupos las variables de la parte de PR de las encuestas que, según el análisis descriptivo, podían tener influencia en la percepción del transbordo. Aquellas con un p-valor superior a 0,20 se descartaron del análisis. El resto, se introdujeron en el modelo en pasos sucesivos antes de descartarlas por completo.

En primer lugar, se introdujeron las *actividades realizadas durante el viaje* (Tabla VI.4). Con el fin de simplificar este ejercicio, en las tablas siguientes se incluyen los parámetros y la significatividad del grupo de variables contemplado, a pesar de que

el modelo se ejecuta con las variables de los pasos anteriores. Las variables relevantes fueron las siguientes⁵:

- La actividad *leer* únicamente es significativa en U(T₂) con signo negativo, lo que indica que leer le aporta una desutilidad al usuario. Este hecho está motivado por la interrupción de la actividad, hasta en dos ocasiones, de viajes con dos transbordos.
- *Escuchar música* aporta utilidad al usuario en viajes con un transbordo.
- *Dormir*, al igual que *leer*, es significativo únicamente en U(T₂), y con signo negativo. El hecho de estar pendiente para bajarse en el punto de transferencia impide al usuario concentrarse en la actividad. Se relaciona con los atributos esfuerzo mental y interrupción de la actividad.

Tabla VI.4. Calibración del modelo definitivo en Madrid. Actividades. Modelo ECL (2).

Función de utilidad		Variables	Parámetro	p-valor
U (T ₁): un transbordo (2.754 observaciones)	read1	Leer	-,1187	,3281
	study1	Estudiar	-,0101	,9637
	sleep1	Dormir	-,3060	,2066
	music1	Escuchar música	,2809	,0350*
	phone1	Utilizar el teléfono móvil	,0537	,6444
U (T ₂): dos transbordos (1.197 observaciones)	read2	Leer	-,5997	,0014*
	study2	Estudiar	,2754	,4027
	sleep2	Dormir	-,9600	,0112*
	music2	Escuchar música	,2728	,1979
	phone2	Utilizar el teléfono móvil	,1961	,2786

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

A continuación, se incluyeron las variables de importancia y satisfacción, y el resultado de su producto (Tabla VI.5). Estas variables se valoraron en una escala de 0 a 100, aunque también se introdujeron en grupos con cuatro y cinco intervalos iguales. Las variables relevantes fueron la existencia de cobertura móvil, el transbordo y la disponibilidad de asientos, aunque no se identificaron razones que lo justificaran. Por ejemplo, el hecho de que la importancia y satisfacción de cobertura móvil y su producto presenten signos distintos no es coherente. No obstante, estas variables se introdujeron en pasos de calibración posteriores antes de descartarlas por completo.

⁵ Estas variables pueden ser no significativas en el modelo final, al incluir otras variables e interacciones.

Tabla VI.5. Calibración del modelo definitivo en Madrid. Importancia y satisfacción. Modelo ECL (3).

Función de utilidad		Variables	Parámetro	p-valor
U (T ₁): un transbordo (2.754 observaciones)	rtimei1	Importancia de información en tiempo real	-,0094	,3217
	rtimes1	Satisfacción de información en tiempo real	-,0049	,7124
	rtimeis1	Importancia por satisfacción: información en tiempo real	,000073	,6261
	covi1	Importancia de cobertura móvil	,0024	,5225
	covs1	Satisfacción de cobertura móvil	,0010	,8558
	covis1	Importancia por satisfacción: cobertura móvil	-,000027	,7113
	shelti1	Importancia del cobijo en las paradas	,0085	,4014
	shelts1	Satisfacción del cobijo en las paradas	,0220	,1858
	sheltis1	Importancia por satisfacción: cobijo en las paradas	-,000237	,1815
	seati1	Importancia de disponibilidad de asientos	-,0054	,3060
	seats1	Satisfacción de disponibilidad de asientos	-,0079	,2727
	seatis1	Importancia por satisfacción: disponibilidad de asientos	,000189	,0417*
	transfi1	Importancia del transbordo	-,0060	,1523
	transfs1	Satisfacción del transbordo	,0020	,6215
	transfis1	Importancia por satisfacción: transbordo	,0000004	,4049
U (T ₂): dos transbordos (1.197 observaciones)	rtimei2	Importancia de información en tiempo real	-,0097	,5183
	rtimes2	Satisfacción de información en tiempo real	-,0089	,6941
	rtimeis2	Importancia por satisfacción: información en tiempo real	,000020	,9358
	covi2	Importancia de cobertura móvil	,0177	,0034*
	covs2	Satisfacción de cobertura móvil	,0231	,0100*
	covis2	Importancia por satisfacción: cobertura móvil	-,000302	,0073*
	shelti2	Importancia del cobijo en las paradas	,0245	,1787
	shelts2	Satisfacción del cobijo en las paradas	,0449	,1264
	sheltis2	Importancia por satisfacción: cobijo en las paradas	-,000411	,1860
	seati2	Importancia de disponibilidad de asientos	-,0073	,3827
	seats2	Satisfacción de disponibilidad de asientos	-,0113	,3108
	seatis2	Importancia por satisfacción: disponibilidad de asientos	,000275	,0585**
	transfi2	Importancia del transbordo	-,0271	,0209*
	transfs2	Satisfacción del transbordo	-,0077	,6694
	transfis2	Importancia por satisfacción: transbordo	,000160	,4175

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

Posteriormente, se incluyeron otras variables de la parte de PR: *tiempo total del viaje habitual, viajar con niños, uso de aplicaciones móviles, género y edad*. Los únicos atributos significativos fueron el género y la edad, que previsiblemente interaccionan con otras variables incluidas en el modelo base.

Finalmente, se introdujeron las ocho variables relacionadas con los hábitos (Epígrafe 8.1). De ellas, solo dos resultaron significativas: *duración del viaje total y tiempo de espera total habituales*.

En este punto, se finalizó la evaluación de la significatividad de los atributos principales, y se comenzó a introducir interacciones con variables socioeconómicas. Al final de este Anexo se recogen todas las interacciones introducidas en el modelo. Las únicas significativas fueron:

- **Tiempo caminando y género.** El género toma valor 1 si es mujer, y 0 si es hombre. Esta interacción fue significativa en $U(T_1)$ con signo negativo, lo que indica que las mujeres perciben una desutilidad adicional por cada minuto caminando en viajes con un transbordo.
- **Aglomeración de personas y joven.** La variable joven toma valor 1 si la edad está comprendida entre 15 y 24 años, y 0 en caso contrario. Esta interacción fue significativa en $U(T_1)$ con signo negativo, lo que indica que los jóvenes perciben una desutilidad adicional si existe aglomeración de personas.

Tras haber evaluado la significatividad de un total de 165 categorías de variables, se introdujeron todos los atributos incluidos en las funciones de utilidad y, del resto, aquellos con un p-valor inferior a 0,20. A continuación, se fueron descartando variables en base a dos criterios:

- El valor de la función de MV no disminuye significativamente⁶.
- Una variable no significativa se descarta del modelo si existe multicolinealidad entre variables.

La sintaxis utilizada en el software Limdep NLogit para obtener los resultados del modelo ECL final se recoge a continuación:

```
RESET
file="C:\....." ;Nobs=6000; Nvar=165; names=1; Format=XLS $
Dstats;rhs=*;str=alternat;$
NLOGIT;lhs=elegida,nalt,alternat;choices=T0,T1,T2
;ecm=(T0),(T1),(T2);pds=pd;maxit=50;pts=25;Halton;Checkdata;Model:
U(T0) =
tveh00 * etveh0 + mode00 * emode0/
U(T1) = constant1 + tveh01 * etveh0
+ interm11 * interm1
+ twalk11 * etwalk1
+ twalkg11 * etwalkg1
+ twait11 * etwait1
+ stair11 * estair1
+ tveh11 * etveh1
+ info1 * einfo
+ crowd1 * ecrowd
+ crowdyng1 * ecrowdyng
+ numtr1 * num_tran
+ read1 * read
+ habittot1p * habittotp
+ habitwain1 * habitwain/
U(T2) = constant2 + tveh02 * etveh0
+ interm12 * interm1
+ twalk12 * etwalk1
+ twait12 * etwait1
+ stair12 * stairc1
+ tveh12 * etveh1
+ interm22 * interm2
+ twalk22 * etwalk2
+ twait22 * etwait2
+ stair22 * estair2
+ tveh22 * etveh2
+ info2 * einfo
+ crowd2 * ecrowd
+ numtr2 * num_tran
+ read2 * read
+ habittot2p * habittotp
+ habitwai2n * habitwain$
```

La Tabla VI.6 muestra la media, desviación típica, y valores máximo y mínimo de las variables independientes del modelo en su versión final.

⁶ El valor de la función de MV aumenta con el número de variables introducidas en el modelo, aunque estas no sean significativas. Este hecho no es del todo positivo, pues el modelo incluiría numerosas variables que no explican el fenómeno estudiado.

Tabla VI.6. Análisis descriptivo de las variables del modelo ECL de Madrid.

Función de utilidad	Variables		Media	Desv. típica	Mínimo	Máximo
U (T ₀): sin transbordo (1.557 observaciones)	Modo	mode0	0,443	0,497	0,00	1,00
	Tiempo en vehículo	tveh0	41,663	3,338	35,00	45,00
	Intermodalidad	interm1	0,500	0,500	0,00	1,00
U (T ₁): un transbordo (2.754 observaciones)	Tiempo en el primer vehículo	tveh0	12,477	2,699	9,00	15,00
	Tiempo en el último vehículo	tveh1	12,010	2,644	9,00	15,00
	Tiempo caminando	twalk1	3,895	1,822	2,00	6,00
	Interacción entre tiempo caminando y género	twalkg1	2,352	2,374	0,00	6,00
	Tiempo de espera	twait1	5,660	2,570	2,00	8,00
	Escaleras	stair1	0,497	0,500	0,00	1,00
	Información en tiempo real	info1	0,557	0,497	0,00	1,00
	Aglomeración de personas	crowd1	0,336	0,471	0,00	1,00
	Interacción entre aglom. de personas y jóvenes	crwdyng1	0,023	0,148	0,00	1,00
	Número de transbordos realizados habitualmente	numtr1	1,142	0,676	0,00	4,00
	Leer durante el viaje	read1	0,712	0,453	0,00	1,00
	Intermodalidad en el primer transbordo	interm1	0,375	0,484	0,00	1,00
U (T ₂): dos transbordos (1.197 observaciones)	Intermodalidad en el segundo transbordo	interm2	0,616	0,486	0,00	1,00
	Tiempo en el primer vehículo	tveh0	5,697	2,312	4,00	10,00
	Tiempo en el segundo vehículo	tveh1	5,133	2,022	4,00	10,00
	Tiempo en el último vehículo	tveh2	6,323	2,753	4,00	10,00
	Tiempo caminando en el primer transbordo	twalk1	2,901	0,811	2,00	4,00
	Tiempo caminando en el segundo transbordo	twalk2	2,657	0,880	2,00	4,00
	Tiempo de espera en el primer transbordo	twait1	2,544	1,833	1,00	5,00
	Tiempo de espera en el segundo transbordo	twait2	2,667	1,662	1,00	5,00
	Escaleras en el primer transbordo	stair1	0,376	0,485	0,00	1,00
	Escaleras en el segundo transbordo	stair2	0,334	0,472	0,00	1,00
	Información en tiempo real	info2	0,491	0,500	0,00	1,00
	Aglomeración de personas	crowd2	0,233	0,423	0,00	1,00
	Número de transbordos realizados habitualmente	numtr2	1,316	0,545	1,00	4,00
	Leer durante el viaje	read2	0,719	0,450	0,00	1,00

La Tabla VI.7 muestra el modelo ECL calibrado. Algunos atributos, como escaleras, información en tiempo real en U(T₁), etc., se mantuvieron en el modelo a pesar de no ser significativas porque contribuyen a explicar la percepción del transbordo, sin provocar problemas de multicolinealidad. Se observa que el valor de la función de MV fue superior al del modelo de la Tabla VI.3 (-1474 > -1490), indicando un mejor ajuste. El valor del estimador *Chi squared* fue significativo, por lo que las variables independientes explican la varianza de la dependiente. El valor del $\tilde{R}^2$ de McFadden fue 0,5128, ligeramente superior al obtenido en el modelo de la Tabla VI.3, representando un ajuste excelente.

La variable *interacción entre tiempo caminando y género* no es significativa a un nivel del 95%. No obstante, si se supone que el signo de la interacción es negativo, tal y como se extrae del estudio de Navarrete y Ortúzar (2013), y se realiza un test de significatividad de una cola, la interacción sí es significativa a un nivel del 95%.

Tabla VI.7. Calibración final del modelo ECL en Madrid.

Función de utilidad	Variables	Parámetro	Desv. típica	p-valor
U (T ₀): sin transbordo (1.557 observaciones)	mode00 Modo	,2722	,2724	,0001*
	tveh00 Tiempo en vehículo	-,0918	,0919	,0000*
	η _q Error	1,8000	,1541	,0000*
U (T ₁): un transbordo (2.754 observaciones)	constant1 Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-5,4441	1,6803	,0012*
	interm11 Intermodalidad	-,7804	,2952	,0082*
	tveh01 Tiempo en el primer vehículo	-,2866	,0724	,0001*
	tveh11 Tiempo en el último vehículo	-,4275	,0828	,0000*
	twalk11 Tiempo caminando	-,2802	,0860	,0011*
	twalkg11 Interacción entre tiempo caminando y género	-,0748	,0399	,0503**
	twait11 Tiempo de espera	-,4076	,0846	,0000*
	stair11 Escaleras	,2553	,2100	,2235
	info1 Información en tiempo real	,1474	,1874	,4309
	crowd1 Aglomeración de personas	-1,2993	,1930	,0000*
	crwdyng1 Interacción entre aglomeración de personas y jóvenes	-,8625	,4450	,0423*
	numtr1 Número de transbordos realizados habitualmente	,1154	,2180	,5923
	read1 Leer durante el viaje	-,0014	,3189	,9965
	habittot1p Diferencia entre el tiempo total mostrado en las situaciones de elección de la parte de PD y el tiempo total revelado (cuando es positiva)	-,000040	,00002	,0479*
	habitwai1n Diferencia entre el tiempo total de espera mostrado en las situaciones de elección de la parte de PD y el tiempo total de espera revelado (cuando es negativa)	,000018	,00002	,3996
	η _q Error	,0206	,1599	,8972
	constant2 Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-6,6619	2,0522	,0011*
	interm12 Intermodalidad en el primer transbordo	-,8712	,3580	,0147*
	interm22 Intermodalidad en el segundo transbordo	-1,2413	,3944	,0016*
	tveh02 Tiempo en el primer vehículo	-,3818	,1025	,0002*
U (T ₂): dos transbordos (1.197 observaciones)	tveh12 Tiempo en el segundo vehículo	-,4329	,1068	,0001*
	tveh22 Tiempo en el último vehículo	-,3169	,0912	,0005*
	twalk12 Tiempo caminando en el primer transbordo	-,3384	,1618	,0360*
	twalk22 Tiempo caminando en el segundo transbordo	-,6013	,2599	,0204*
	twait12 Tiempo de espera en el primer transbordo	-,4660	,1120	,0000*
	twait22 Tiempo de espera en el segundo transbordo	-,5521	,1353	,0000*
	stair12 Escaleras en el primer transbordo	-,5490	,4057	,1742
	stair22 Escaleras en el segundo transbordo	-,5027	,3287	,1248
	info2 Información en tiempo real	,6577	,3246	,0428*
	crowd2 Aglomeración de personas	-1,3209	,4512	,0034*
	numtr2 Número de transbordos realizados habitualmente	,7959	,3117	,0102*
	read2 Leer durante el viaje	-,5602	,3693	,0485*
	habittot2p Diferencia entre el tiempo total mostrado en las situaciones de elección de la parte de PD y el tiempo total revelado (cuando es positiva)	-,000102	,00003	,0012*
	habitwai2n Diferencia entre el tiempo total de espera mostrado en las situaciones de elección de la parte de PD y el tiempo total de espera revelado (cuando es negativa)	,000068	,00003	,0164*
	η _q Error	1,3650	,1492	,0000*

Función de máxima verosimilitud = -1474,041

Función de máxima verosimilitud (solo constantes) = -1723,027

Pseudo R cuadrado de McFadden = ,5128

Chi squared = 3103,075 (37 grados de libertad) (Sig. = ,0000)

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

Ajuste del modelo ECL de Vitoria-Gasteiz

La calibración del modelo ECL de Vitoria-Gasteiz siguió los mismos pasos que el caso de Madrid. En primer lugar, se estimó un modelo MNL como elemento de control (Tabla VI.8). Se introdujeron las variables de escenario incluidas en las funciones de utilidad y la variable personal *número de transbordos realizados habitualmente*. Se observa que casi todos los atributos no son significativos (p -valor $> 0,05$), a excepción del *tiempo de dispersión* en $U(T_0)$, y el *número de transbordos* y la climatología en $U(T_1)$. Este hecho puede deberse a que a los usuarios de TP de Vitoria-Gasteiz no les importa transbordar si perciben un ahorro en el tiempo total de viaje. El valor de la función de MV es igual a -939 y el del estimador *Chi squared* es significativo, indicando que las variables independientes del modelo explican la varianza de la dependiente. Este es el punto de partida sobre el que añadir, modificar y descartar variables, con el fin de calibrar un modelo que maximice el valor de la función de MV.

Tabla VI.8. Calibración del modelo definitivo en Vitoria-Gasteiz. Modelo MNL (1).

Función de utilidad		Variables	Parámetro	p-valor
U (T_0): sin transbordo (1.611 observaciones)	tegr0	Tiempo de dispersión	-,1265	,0040*
	constant1	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-1,5440	,0829**
	mode01	Primer modo	,1457	,3017
	mode11	Último modo	,0902	,5435
	tacc1	Tiempo de acceso	,0002	,9982
U (T_1): un transbordo (1.611 observaciones)	tveh01	Tiempo en el primer vehículo	,0371	,3623
	tveh11	Tiempo en el último vehículo	-,0724	,0627**
	twalk11	Tiempo caminando	-,0791	,2184
	twait11	Tiempo de espera	-,0711	,1501
	tegr1	Tiempo de dispersión	-,1180	,1094
	info	Información en tiempo real	,2952	,0515**
	weather	Climatología adversa	1,1235	,0000*
	numtr	Número de transbordos realizados habitualmente	,5044	,0000*
Función de máxima verosimilitud = -938,686				
Chi squared = 92,018 (12 grados de libertad) (Sig. = ,0000)				

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

En base a estos resultados y a las conclusiones de los grupos focales, se decidió sustituir el *tiempo de acceso, caminando, de espera, en vehículo y dispersión* por el *tiempo total de viaje*, que fue la variable más mencionada en los grupos focales (Figura 5.2). La Tabla VI.9 muestra el modelo MNL con esta modificación. El valor de función de MV disminuyó ligeramente respecto al anterior, aunque la variable *tiempo total de viaje* fue significativa, que contribuye a explicar la percepción del transbordo. Es decir, los usuarios de TP de Vitoria-Gasteiz dan más importancia al tiempo total de viaje que al resto de componentes del mismo. El estimador *Chi squared* es significativo, por lo que se validó este paso.

Tabla VI.9. Calibración del modelo definitivo en Vitoria-Gasteiz. Modelo MNL (2).

Función de utilidad	Variables		Parámetro	p-valor
U (T ₀): sin transbordo (1.611 observaciones)	<i>ttime0</i>	<i>Tiempo total de viaje</i>	-,1113	,0011*
	constant1	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-1,3103	,0975**
	mode01	Primer modo	,1265	,3348
U (T ₁): un transbordo (1.611 observaciones)	mode11	Último modo	,0282	,8276
	<i>ttime1</i>	<i>Tiempo total de viaje</i>	-,0703	,0216*
	info1	Información en tiempo real	,2355	,0858**
	weather1	Climatología adversa	1,0361	,0000*
	numtr1	Número de transbordos realizados habitualmente	,5039	,0000*

Función de máxima verosimilitud = -939,205

Chi squared = 90,979 (7 grados de libertad) (Sig. = ,0000)

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

Al igual que en Madrid, las variables de *modo* no fueron significativas. Se introdujeron variables *dummy* que captaran el efecto de transbordar en autobús-tranvía, tranvía-autobús, y tranvía-tranvía, con el transbordo autobús-autobús como referencia, sin cambio alguno. Posteriormente, se incluyó la variable *intermodalidad* para captar el efecto de transbordar entre modos (Tabla VI.10). No obstante, tampoco fue significativa. En Vitoria-Gasteiz los transbordos se producen en superficie, lo que explica la irrelevancia de la variable. El valor de la función de MV empeoró ligeramente, por lo que se decidió eliminar el atributo del modelo. Así, la Tabla VI.10 muestra el modelo MNL de control con las variables principales ajustadas, que son las incluidas en las funciones de utilidad. Posteriormente, se especificó al software Limdep NLogit que estimara un modelo ECL con los mismos atributos.

Tabla VI.10. Calibración del modelo definitivo en Vitoria-Gasteiz. Modelo MNL (3).

Función de utilidad	Variables		Parámetro	p-valor
U (T ₀): sin transbordo (1.611 observaciones)	<i>ttime0</i>	<i>Tiempo total de viaje</i>	-,1140	,0006*
	constant1	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-1,3018	,0933**
	<i>interm1</i>	<i>Intermodalidad</i>	,0153	,9097
U (T ₁): un transbordo (1.611 observaciones)	<i>ttime1</i>	<i>Tiempo total de viaje</i>	-,0663	,0393*
	info1	Información en tiempo real	,2043	,1342
	weather1	Climatología adversa	,9743	,0000*
	numtr1	Número de transbordos realizados habitualmente	,5048	,0000*

Función de máxima verosimilitud = -939,667

Chi squared = 90,055 (6 grados de libertad) (Sig. = ,0000)

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

La estimación del modelo MNL de control con una especificación ECL se muestra en la Tabla VI.11. La significatividad de la *constante* y la *información en tiempo real* mejoraron ligeramente respecto al modelo MNL, y el valor de la función de MV es

mayor. El valor del estimador $\tilde{R}^2$ de McFadden es igual a 0,26, lo que representa un buen ajuste. Por otra parte, el valor del estimador *Chi squared* aumentó significativamente, de 90 a 581, lo que refuerza el hecho de que la varianza de la variable dependiente está explicada por los atributos independientes.

Este modelo es la base para introducir nuevas variables que mejoren su ajuste. Al igual que en Madrid, las categorías de variables se evaluaron por grupos aleatoriamente, un total de 109, descartando aquellas con un p-valor mayor de 0,20.

Tabla VI.11. Calibración del modelo definitivo en Vitoria-Gasteiz. Modelo ECL (1).

Función de utilidad	Variables	Parámetro	p-valor
U (T ₀): sin transbordo (1.611 observaciones)	ttime0 Tiempo total de viaje	-,1515	,0001*
	<i>constant1</i> <i>Constante (captura la penalización pura por transferencia)</i>	-1,6366	,0857**
U (T ₁): un transbordo (1.611 observaciones)	ttime1 Tiempo total de viaje	-,0912	,0111*
	<i>info1</i> <i>Información en tiempo real</i>	,2756	,0618**
	weather1 Climatología adversa	1,3540	,0000*
	numtr1 Número de transbordos realizados habitualmente	,6763	,0113*
Función de máxima verosimilitud = -825,856			
Pseudo R cuadrado de McFadden = ,2604			
Chi squared = 581,607 (8 grados de libertad) (Sig. = ,0000)			

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

En primer lugar, se introdujeron las *actividades realizadas durante el viaje*, las variables relacionadas con la *importancia y satisfacción*, *el tiempo total del viaje habitual*, *viajar con niños*, *uso de aplicaciones móviles*, *género* y *edad*. Ninguna de ellas fue significativa.

Posteriormente, se introdujeron interacciones con variables socioeconómicas. La única interacción significativa fue entre la información en tiempo real y género en U(T₁), con signo positivo. Esto indica que la disponibilidad de información en tiempo real aporta una utilidad adicional a las mujeres. También se evaluaron las variables de *hábitos*, y ninguna resultó significativa.

Finalmente, se introdujo en el modelo de la Tabla VI.11 la interacción entre información en tiempo real y género, resultando el modelo ECL calibrado. A continuación, se muestra la sintaxis utilizada:

```
RESET
file="C:\....."; Nobs=5000; Nvar=109; names=1; Format=XLS $
Dstats; rhs=*; str=alternat;$
NLOGIT ; lhs=elegida, nalt, alternat; choices=T0,T1
;ecm=(T0),(T1);pds=9 ;maxit=50;pts=25;Halton;Checkdata;
Model:
U(T0) =
    ttime0 * ettime
/
U(T1) = constant1
    + ttime1 * ettime
    + info1 * einfo
    + infogen1 * einfogen
    + weather1 * eweather
    + numtr1 * num_tran$
```


La Tabla VI.12 muestra la media, desviación típica, y valores máximo y mínimo de las variables independientes del modelo en su versión final.

Tabla VI.12. Análisis descriptivo de las variables del modelo ECL de Vitoria-Gasteiz.

Función de utilidad	Variables		Media	Des. típica	Mínimo	Máximo
U (T ₀): sin transbordo (1.611 observaciones)	Tiempo total de viaje	ttime0	22,246	1,844	19,00	24,00
	Tiempo total de viaje	ttime1	20,409	2,231	18,00	25,00
U (T ₁): un transbordo (1.611 observaciones)	Información en tiempo real	info1	0,667	0,472	0,00	1,00
	Interacción entre información en tiempo real y género	infogen1	0,343	0,475	0,00	1,00
	Climatología adversa	weather1	0,726	0,446	0,00	1,00
	Número de transbordos realizados habitualmente	numtr1	0,330	0,624	0,00	3,00

La Tabla VI.13 muestra el modelo ECL calibrado. El valor de la función de MV mejora ligeramente respecto al del modelo anterior, indicando un mejor ajuste. El valor del $\tilde{R}^2$ de McFadden también mejora ligeramente, representando un buen ajuste. De esta forma, se concluye la calibración del modelo.

Tabla VI.13. Calibración final del modelo ECL en Vitoria-Gasteiz.

Función de utilidad	Variables	Parámetro	Desv. típica	p-valor
U (T ₀): sin transbordo (1.611 observaciones)	ttime0	Tiempo total de viaje	-,1527	,0380
	η_q	Error	,0081	,3251
U (T ₁): un transbordo (1.611 observaciones)	constant1	Constante (captura la penalización pura por transferencia)	-1,6791	,9540
	ttime1	Tiempo total de viaje	-,0913	,0367
	info1	Información en tiempo real	,0675	,2022
	infogen1	Interacción entre información en tiempo real y género	,4100	,2373
	weather1	Climatología adversa	1,3614	,1392
	numtr1	Número de transbordos realizados habitualmente	,6722	,2718
	η_q	Error	1,6007	,1346

Función de máxima verosimilitud = -823,438

Función de máxima verosimilitud (solo constantes) = -984,695

Pseudo R cuadrado de McFadden = ,2626

Chi squared = 586,443 (9 grados de libertad) (Sig. = ,0000)

(*) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 95%.

(**) El parámetro es significativamente distinto de cero a un nivel del 90%.

El modelo de Vitoria-Gasteiz es más sencillo que el de Madrid. Se observa que la *constante* y la *interacción entre información en tiempo real y género* no son significativas a un nivel del 95%. Al igual que se razona en el caso de Madrid, los signos de estas dos variables se pueden suponer negativos en base a la literatura, y realizar un test de una cola, resultando así a un nivel del 95%.

Variables e interacciones desestimadas en los modelos ECL finales

Tabla VI.14. Lista de las variables no incluidas en los modelos ECL finales, desestimadas al no ser significativas.

Categoría	Atributos	Descripción
Variables socioeconómicas	income	Ingresos mensuales netos en el hogar familiar (euros), según cinco intervalos: <1.000; 1.000-2.000; 2.000-3.000; 3.000-5.000; >5.000
	gender	Toma el valor 1 para mujeres, y 0 para hombres
	age	Dividida en cuatro intervalos: 15-24; 25-39; 40-54; 55-69. Asimismo, se probaron otros intervalos distintos, agrupando los anteriores
	young	Toma el valor 1 si la edad se encuentra comprendida entre 15 y 24 años, y 0 en caso contrario
	old	Toma el valor 1 si la edad se encuentra comprendida entre 55 y 69 años, y 0 en caso contrario
	education	Nivel de educación (sin estudios; educación primaria/secundaria; bachillerato, formación profesional, estudios universitarios)
Viaje habitual	ttimerp	Tiempo total de viaje (min) revelado
	walktimerp	Tiempo caminando (min) revelado en cada transbordo. El número de variables es igual al número de transbordos realizados habitualmente
	waittimerp	Tiempo de espera (min) revelado en cada transbordo. El número de variables es igual al número de transbordos realizados habitualmente
	vehtimerp	Tiempo en vehículo (min) en cada transbordo. El número de variables es igual al número de transbordos realizados habitualmente
	stairsrp	Número de tramos de escalera revelado en cada transbordo. El número de variables es igual al número de transbordos realizados habitualmente
	children	Toma el valor 1 si el encuestado viaja con carro de niños, y 0 en caso contrario
	ticket	Tipo de billete utilizado habitualmente (billete sencillo, abono de varios viajes o abono mensual/anual)
Hábitos	habitmn	Diferencia negativa (min) entre el tiempo total de viaje mostrado en la parte de PD y el tiempo total de viaje revelado
	habitwaip	Diferencia positiva (min) entre el tiempo total de espera mostrado en la parte de PD y el tiempo total de espera revelado
	habitwalkp	Diferencia positiva (min) entre el tiempo total caminando mostrado en la parte de PD y el tiempo total caminando revelado
	habitwalkn	Diferencia negativa (min) entre el tiempo total caminando mostrado en la parte de PD y el tiempo total caminando revelado
	habitvehp	Diferencia positiva (min) entre el tiempo total en vehículo mostrado en la parte de PD y el tiempo total en vehículo revelado
	habitvehn	Diferencia negativa (min) entre el tiempo total en vehículo mostrado en la parte de PD y el tiempo total en vehículo revelado
	app	Toma el valor 1 si el encuestado utiliza apps para consultar el tiempo restante hasta el siguiente vehículo, y 0 en caso contrario
Actividades ¹	study	Toma el valor 1 si el encuestado estudia mientras viaja, y 0 en caso contrario
	music	Toma el valor 1 si el encuestado escucha música mientras viaja, y 0 en caso contrario
	phone	Toma el valor 1 si el encuestado utiliza el teléfono móvil mientras viaja, y 0 en caso contrario
	sleep	Toma el valor 1 si el encuestado duerme mientras viaja, y 0 en caso contrario
	nothing	Toma el valor 1 si el encuestado no realiza ninguna actividad mientras viaja, y 0 en caso contrario
Importancia y satisfacción ²	infoI	Importancia de la disponibilidad de información en tiempo real (de 0 a 100)
	infoS	Satisfacción de la disponibilidad de información en tiempo real (de 0 a 100)
	cellcoverageI	Importancia de la existencia de cobertura de telefonía móvil (de 0 a 100)
	cellcoverageS	Satisfacción de la existencia de cobertura de telefonía móvil (de 0 a 100)
	shelterI	Importancia del cobijo en paradas y estaciones (de 0 a 100)
	shelterS	Satisfacción del cobijo en paradas y estaciones (de 0 a 100)
	seatsI	Importancia de la disponibilidad de asientos en paradas y estaciones (de 0 a 100)
	seatsS	Satisfacción de la disponibilidad de asientos en paradas y estaciones (de 0 a 100)
	transferI	Importancia del transbordo (de 0 a 100)
	transferS	Satisfacción del transbordo (de 0 a 100)

1: Las actividades también se agruparon en estudiar-leer, y escuchar música-utilizar el teléfono móvil.

2: Se definieron 4 y 5 intervalos de cada variable en 25 y 20 unidades, respectivamente. También se multiplico la importancia por la satisfacción, y se definieron asimismo 4 y 5 intervalos.

Tabla VI.15. Lista de las interacciones no incluidas en los modelos ECL finales, desestimadas al no ser significativas.

Atributo principal	En interacción con
Tiempo caminando	Edad, jóvenes niños, número de transbordos realizados habitualmente
Tiempo en vehículo	Edad, jóvenes, niños, número de transbordos realizados habitualmente
Tiempo de dispersión	Edad, jóvenes, niños, número de transbordos realizados habitualmente
Intermodalidad	Género, edad, jóvenes, niños, número de transbordos realizados habitualmente, tipo de billete utilizado habitualmente
Información en tiempo real	Género, edad, jóvenes, uso de aplicaciones móviles, nivel de educación
Aglomeración de personas ¹	Género, edad, número de transbordos realizados habitualmente
Climatología adversa ²	Género, edad, número de transbordos realizados habitualmente, tiempo de dispersión, tiempo caminando, tiempo de espera, tiempo en vehículo

1: Solo en Madrid.

2: Solo en Vitoria-Gasteiz.