

## *Documento 3. Proyecto AERO-AVE*



---

# Tercer Informe de Seguimiento

---

### **Autores:**

**Ofelia Betancor, Juan Carlos Martín, Concepción Román, Juan Luis Jiménez, Agustín Alonso, Federico Inchausti, Cira Mendoza, Alejandro Ojeda (ULPGC)**

**Timoteo Martínez, Ana Muro (UCLM) con la asistencia de María Muñoz, Israel R. Pérez, Ana M<sup>a</sup> Muñoz, María José Calderón (UCLM) y Vidal Fernández, (Let's Marketing)**

**Massimiliano Zanin, Sophie Ladousse, Ricardo Herranz (INNAXIS)**

**Junio 2011**

---

## Proyecto AERO-AVE. Documento 3

### Título:

Tercer Informe de Seguimiento

### Versión documento:

1.0 (versión final)

### Autores:

Ofelia Betancor, Juan Carlos Martín, Concepción Román, Juan Luis Jiménez, Agustín Alonso, Federico Inchausti, Cira Mendoza, Alejandro Ojeda (ULPGC)

Timoteo Martínez, Ana Muro (UCLM) con la asistencia de María Muñoz, Israel R. Pérez, Ana M<sup>a</sup> Muñoz, María José Calderón (UCLM) y Vidal Fernández, (Let's Marketing)

Massimiliano Zanin, Sophie Ladousse, Ricardo Herranz (INNAXIS)

<http://www.aeroave.es>

---

---



---

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 1:</b>	
<b>MADRID - BARCELONA</b> .....	<b>5</b>
1.1. Introducción .....	5
1.2. Datos .....	6
1.3. Resultados de las estimaciones.....	7
1.4. Conclusiones.....	8
<b>RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 2:</b>	
<b>MADRID - TOLEDO</b> .....	<b>10</b>
2.1. Introducción .....	10
2.2. El caso Toledo.....	10
2.3. La Encuesta.....	11
2.4. Análisis de las Preferencias Declaradas.....	14
2.5. Conclusión .....	15
<b>RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 3:</b>	
<b>AEROPUERTO Y AVE MÁLAGA</b> .....	<b>16</b>
3.1. Introducción .....	16
3.2. El caso Málaga.....	16
3.3. Introducción de la Intermodalidad.....	19
3.4. Conclusiones.....	21
<b>RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 4:</b>	
<b>RUTAS CANARIAS - PENÍNSULA</b> .....	<b>22</b>
4.1. Introducción .....	22
4.2. Caso de estudio: Rutas Canarias- Península.....	22
4.3. Metodología .....	23
4.4. Resultados .....	24
4.5. Conclusiones.....	25

**RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 5:  
INTERMODALIDAD EN EL AEROPUERTO MADRID –  
BARAJAS: IMPACTO MEDIOAMBIENTAL .....26**

5.1. Introducción .....26

5.2. Tiempos y Costes de Desplazamientos .....27

5.3. Utilidad de los Medios de Transporte.....29

5.4. Modelo de Impacto Medioambiental.....29

5.5. Resultados .....30

5.6. Conclusiones.....31

---

## RESUMEN EJECUTIVO

- La integración del transporte aéreo y la red de alta velocidad en España se concreta en un amplio espectro de experiencias dentro de la geografía española que ha dado lugar a diferentes impactos y resultados para cada caso. En este sentido, el análisis de la experiencia intermodal española desde una perspectiva global pasa por el estudio de cada uno de estos casos y sus distintas especificidades.
- Los casos concretos que han sido objeto de estudio en el proyecto *AERO-AVE*, desarrollados por los distintos grupos de trabajo, son los siguientes:
  - **Caso de estudio 1: Madrid - Barcelona.**

Este caso se centra en la reacción de las aerolíneas ante la entrada de las líneas de alta velocidad, así como en el efecto resultante sobre el número de pasajeros y las cuotas de mercado para distintas rutas españolas, poniendo especial atención en lo sucedido en el corredor Madrid – Barcelona.
  - **Caso de estudio 2: Madrid - Toledo.**

El análisis que se recoge en este apartado pretende de un lado analizar la realidad del corredor en términos de movilidad y, al mismo tiempo, estudiar las consecuencias de un nuevo escenario con nuevas infraestructuras de transporte y servicios que posibiliten la integración de la alta velocidad en la ruta Madrid – Toledo.
  - **Caso de estudio 3: Aeropuerto y AVE Málaga.**

Se presenta en este caso una evaluación que compara los beneficios y los costes asociados a las estrategias de competencia y cooperación en un sistema de transporte intermodal que combine el transporte aéreo y ferroviario de alta velocidad, lo que se realiza mediante el análisis del caso específico de la ruta Málaga-Madrid.

- **Caso de estudio 4: Rutas Canarias - Península.**

En este caso de estudio se analiza la competitividad de una nueva alternativa intermodal que se introduce de manera hipotética en las rutas seleccionadas entre el aeropuerto de Gran Canaria y cualquier otra ciudad de la Península Ibérica y se confronta con la situación real de mercado existente de escoger AVIÓN- AVIÓN.

- **Caso de estudio 5: Intermodalidad en el Aeropuerto de Madrid-Barajas: Impacto Medioambiental.**

El análisis que se lleva a cabo en este caso se centra en las repercusiones de la construcción de una estación de AVE en Barajas tanto sobre la movilidad de la población española como en términos de impacto medio-ambiental, concretándose este último aspecto en la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera.

- En el presente Informe se recogen de forma sintetizada los casos antes indicados de la experiencia española en integración del transporte aéreo y la alta velocidad ferroviaria así como las conclusiones que emanan de su análisis.
- Como anexos a este Informe se facilitan los distintos casos de estudio completos, donde se amplía la información aquí presentada.

---

# RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 1:

## MADRID - BARCELONA

---

### *1.1. Introducción*

---

Los trenes de alta velocidad suponen un importante factor de competencia intermodal para el sector aéreo. Con anterioridad a 1990, aviones y ferrocarriles eran considerados como dos modos independientes, que no podían competir dadas sus diferentes características (Ivaldi y Vibes, 2005), pero la aparición del Tren de Alta Velocidad (en adelante, TAV) modificó este escenario.

La literatura empírica ha encontrado que la introducción del TAV tiene efectos sobre el comportamiento de los consumidores finales y, por tanto, de las aerolíneas. Esta situación es más pronunciada en rutas de distancia inferior a 800 kilómetros o de menos de 3 horas de viaje en tren (IATA, 2003). Además de la ventaja derivada de la velocidad, está el hecho de que la mayoría de las estaciones de trenes se ubiquen en el centro de las ciudades, lo que le confiere al TAV una importante ventaja en tiempo de viaje comparado con el modo aéreo (Givoni y Banister, 2007).

Antes de los años 90 ya hubo al menos un caso, concretamente tras la aparición del Train à Grande Vitesse (TGV) en la línea París-Lyon (1981, 450 Km.), en el que las líneas aéreas redujeron su participación en casi un 50 por ciento. En España, el caso más evidente es la ruta Madrid-Sevilla, con la introducción del AVE en el año 1992. De 471 Kms, esta ruta vio reducida la participación del modo aéreo desde el 40 al 13 por ciento, incrementando a su vez el tren su cuota del 16 al 51 por ciento (Park y Ha, 2006; o EC, 1996). En 2010 existen tres rutas más operando.

La competencia en el sector aéreo y los factores que la afectan han sido revisados con profusión en la literatura. No obstante y a pesar de la entrada del tren de alta velocidad en diversos países del mundo, los efectos sobre las líneas aéreas (principales competidores) no han sido estudiados de la misma forma, salvo excepciones.<sup>1</sup> En resumen, la principal

---

<sup>1</sup> Las principales referencias sobre la idoneidad o los efectos de la instalación del TAV son los trabajos de González-Savignat (2004), Park y Ha (2006), Martín y Nombela (2007), De Rus y Román (2006), De Rus

conclusión es que el análisis de la competencia en el sector aéreo debe considerar también la competencia intermodal con la alta velocidad ferroviaria, como un modo sustitutivo potencial desde el punto de vista del consumidor.

Este caso de estudio pretende aportar luz a este análisis, utilizando para ello una base de datos a nivel de ruta para el mercado español. Mediante un análisis econométrico se evalúa si el TAV (AVE, en España) ha modificado sustancialmente la frecuencia, el número de pasajeros y la cuota de mercado de las líneas aéreas. Este estudio se realiza tanto para el conjunto de aerolíneas, como para el comportamiento estratégico de la aerolínea tradicional (Iberia) en cada ruta.<sup>2</sup>

---

## 1.2. Datos

---

Para analizar el comportamiento de las aerolíneas ante la entrada del TAV, utilizamos datos mensuales a nivel de ruta sobre frecuencias ofrecidas por las aerolíneas en el mercado aéreo español (medido por el número de operaciones), así como datos sobre pasajeros y cuotas de mercado, para nueve rutas con origen en Madrid, entre enero de 1999 y diciembre de 2009 (1188 observaciones). Estas rutas tienen la característica de ser todas peninsulares, siendo operadas tanto por transporte aéreo (sólo en vuelos directos) como ferroviario. En cuatro de las mismas existe TAV (AVE), al menos en parte del período muestral, mientras que en el resto está prevista su instalación.

La distancia media de las rutas es de 375 kilómetros, con 910 operaciones que desplazan a 87532 pasajeros aéreos en promedio. El volumen de pasajeros mensuales promedio en tren en cada ruta es en torno a un 20 por ciento inferior al aéreo. Considerando los pasajeros totales movidos por avión y tren en cada ruta, este último modo dispone de una cuota promedio cercana al 40 por ciento. Respecto a la concentración en el mercado aéreo, Iberia posee una cuota promedio de operaciones y pasajeros en cada ruta superior al 70 por ciento, con valores no inferiores al 43 por ciento.

---

(2009) o Bilotkach *et al.* (2010). Para la evolución general del TAV véase Campos y Gagnepain (2009), Gourvish (2010) y Albalade y Bel (2010).

<sup>2</sup> Las otras principales aerolíneas consideradas en la muestra (1999-2009) son Spanair y Air Europa. Las compañías de bajo coste han aparecido en el mercado español muy avanzado nuestro período muestral (en torno a 2008) y por consiguiente consideramos que su impacto no debe ser muy significativo en el período analizado.



En las rutas donde entró el AVE (Barcelona, Málaga y Zaragoza), las operaciones aéreas y el total de pasajeros mensuales se reducen tras la entrada del AVE. En cambio los pasajeros movidos por tren (media mensual) aumentan de manera destacada. De hecho la cuota de pasajeros del tren respecto al avión entre Madrid y Barcelona se multiplica por un factor superior a tres, se duplica para la ruta Madrid-Málaga y casi monopoliza el volumen de pasajeros entre Madrid y Zaragoza. Estos valores son similares al cambio descrito por Park y Ha (2006) para la ruta Madrid-Sevilla y a las predicciones del trabajo de Martín y Nombela (2007).

---

### ***1.3. Resultados de las estimaciones***

---

#### ***1.3.1. La reacción de las aerolíneas: los efectos sobre las frecuencias aéreas***

En esta sección analizamos los efectos que la introducción de los servicios del AVE ha tenido sobre una variable competitiva relevante: la frecuencia de vuelos. Para ello estimamos dos ecuaciones explicativas de las operaciones aéreas (totales y para la compañía Iberia) mediante un estimador de Mínimos Cuadrados en Dos Etapas, con Variables Instrumentales (2SLS-IV).

Para este concepto, los resultados más destacados son: 1) en las rutas en las que Iberia tiene una mayor cuota de mercado, el número total de operaciones disminuye (relación negativa concentración y operaciones aéreas); 2) Las rutas de mayor distancia tienen menor frecuencia de vuelos; 3) La entrada del AVE, de forma general, supuso una reducción en la frecuencia de vuelos mensuales, con distinto efecto si el análisis se realiza de forma desagregada por ciudades; 4) El comportamiento de Iberia ante la entrada del AVE es el de reducir operaciones en las rutas a Barcelona y Zaragoza, pero su reacción en la ruta a Málaga no es tan evidente.

Concretamente Iberia estaría reduciendo sus operaciones en Barcelona un 11 por ciento, en tanto que la disminución alcanza el 34 por ciento en Zaragoza. Las otras aerolíneas reducen las suyas un 31 por ciento en Málaga y casi desaparecen en la ruta Madrid-Zaragoza. Estos resultados son más robustos que los descritos en Park y Ha (2006) o en otros trabajos descriptivos, en tanto en cuanto las estimaciones controlan por otros factores que pueden afectar al comportamiento del mercado. Por tanto las estimaciones permiten delimitar los efectos específicos de la entrada del AVE.

### ***1.3.2. Los efectos sobre el total de pasajeros y las cuotas de mercado***

En este caso el objetivo es comprobar si la entrada del AVE ha favorecido o no el tamaño del mercado en términos de pasajeros transportados en la ruta, y hasta qué punto ha modificado las cuotas de las aerolíneas en el mercado total (aéreo y ferrocarriles) y de la compañía Iberia en el mercado aéreo.

Siguiendo una estrategia empírica similar al apartado anterior, los principales resultados obtenidos son: 1) La entrada del AVE en los mercados españoles ha aumentado la demanda en esas rutas entre un 8 y un 35 por ciento, dependiendo de la ruta. El efecto más importante en términos brutos se registra en la ruta Madrid-Barcelona, aunque en general no podemos identificar qué parte ha sido desviada de la carretera y qué parte es puramente nueva demanda generada. 2) La cuota de mercado del transporte aéreo se ha visto sensiblemente afectada. Después de la aparición del AVE, la cuota del modo aéreo (expresada en tanto por uno) es entre 0,13 y 0,31 puntos inferior y, de nuevo, el mayor impacto se produce en la ruta Madrid-Barcelona. 3) Finalmente, la cuota de Iberia en los mercados aéreos también se reduce tras la entrada del AVE, y es igualmente en la ruta con Madrid-Barcelona donde la disminución es más importante.

---

### ***1.4. Conclusiones***

---

Los trenes de alta velocidad tienen consecuencias no sólo sobre el medio ambiente, la movilidad o el proceso de integración territorial, sino también sobre otros modos de transporte competitivos, especialmente el transporte aéreo.

El primer objetivo de este trabajo era delimitar la reacción de las compañías aéreas ante la entrada del AVE en términos de frecuencias. Para ello realizamos un análisis empírico utilizando datos mensuales sobre operaciones aéreas en nueve rutas españolas con origen Madrid, entre enero de 1999 y diciembre de 2009.

Controlando los factores que podrían afectar a la decisión de las aerolíneas de ofertar un nivel de operaciones determinado (número de pasajeros, nivel de concentración en la ruta, renta, turismo, distancia, efectos fijos, etc.) y usando MCO en dos etapas, con variables instrumentales, alcanzamos la siguiente conclusión: la entrada del AVE en España, una decisión exógena a las características de las rutas, ha reducido en media el

número de operaciones aéreas en un 17%, aunque este resultado varía según las rutas y aerolíneas consideradas.

Como segundo objetivo nos centramos en determinar si la entrada de la alta velocidad ha favorecido el tamaño del mercado en términos de pasajeros, y hasta qué punto ha modificado la cuota de las aerolíneas en el mercado total (aéreo + ferrocarril), así como la cuota de Iberia en términos de pasajeros en el mercado aéreo. De un lado, la aparición del AVE ha aumentado la demanda, entre un 8 y un 35 por ciento, dependiendo de la ruta. El efecto más importante en volumen de pasajeros se recoge en la ruta Madrid-Barcelona, aunque nuestros datos no son capaces de discernir qué parte ha sido desviada de la carretera y qué parte es puramente nueva demanda.

Por otro lado, y a pesar de ese aumento, el peso del transporte aéreo se ha reducido. De acuerdo a nuestros resultados, el AVE ha ganado la carrera con las compañías aéreas por el mercado de transporte español. Este resultado es muy claro en la ruta Madrid-Barcelona. Después de la entrada del AVE la cuota de mercado del modo aéreo (expresada en tanto por uno) es entre 0,13 y 0,31 puntos inferior. Finalmente, Iberia también reduce su cuota en el mercado aéreo.

---

---

# RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO

## DE ESTUDIO 2:

### MADRID - TOLEDO

---

#### *2.1. Introducción*

---

El caso de estudio, “caso Madrid-Toledo” dentro del proyecto AERO-AVE tiene un doble objetivo: analizar el estado actual de la movilidad en el *corredor Madrid-Toledo* y plantear un nuevo escenario con nuevas infraestructuras de transporte y servicios.

La mejora de las infraestructuras de interconexión entre la red de de alta velocidad española y el aeropuerto de Madrid, mediante la construcción del corredor ferroviario Atocha-Chamartín-Barajas abre nuevas oportunidades a los operadores del transporte y a los usuarios para potenciar la intermodalidad en larga distancia (aéreo-ave), media distancia (ave-ave) e interconexión con el sistema de transporte urbano de Madrid y, eventualmente, de Toledo.

---

#### *2.2. El caso Toledo*

---

El “caso Madrid-Toledo” presenta rasgos característicos que determinan el perfil de viajero en el corredor Toledo-Madrid-Aeropuerto y las expectativas de integración modal:

- Ciudad media con un potencial de desarrollo económico y territorial: configuración del área metropolitana de Toledo y la creación de unidades administrativas supramunicipales (consorcio de transportes, construcción del intercambiador de transporte de Toledo).
- Ciudad de atracción turística (nacional e internacional) en la que una parte de la afluencia de turismo es derivada del turismo a Madrid como principal lugar de destino. Cambios en la estructura de la oferta turística pueden alterar sustancialmente la movilidad de viajeros a Toledo una vez establecida la interconexión entre los modos alta velocidad-aeropuerto.

- Proximidad a la gran área metropolitana de Madrid y a su red metropolitana de transportes. Se plantea un escenario de crecimiento económico de la metrópoli madrileña que potencie el eje de desarrollo económico Madrid-Toledo.

La finalización del corredor ferroviario (Atocha-Chamartín-Aeropuerto) permitirá la conexión entre la red de alta velocidad española y el aeropuerto internacional de Madrid. Esta nueva infraestructura favorecerá la cooperación de los operadores para ofertar mejores servicios de transporte a los viajeros: nuevas figuras de títulos de transporte, disminución de los tiempos de conexión, gestión integrada del equipaje, visualización de la información, etc. y la incorporación de las tecnologías TIC a la operativa del transporte (integración de sistemas de información y reserva).

La especificidad del “caso Madrid-Toledo” hace necesario contemplar algunas limitaciones, de tipo estructural, que deberán tenerse en cuenta, como recomendaciones, a la hora de plantear políticas de fomento de la intermodalidad:

- la rigidez de la estructura de la oferta turística (operadores turísticos); una gran parte del turismo a Toledo está influenciado por los paquetes turísticos y condicionan los aspectos de desplazamiento y tiempos de estancia.
- confluencia de las tres administraciones territoriales (municipal, provincial, autonómica) en la determinación de las políticas de movilidad de la ciudad de Toledo (urbano) y del área metropolitana (interurbano).

---

### ***2.3. La Encuesta***

---

El método de investigación se basa en la realización de una amplia encuesta a más de 1.500 viajeros del corredor Madrid-Toledo, en las estaciones de AVE (Toledo y Puerta de Atocha), autobuses (Toledo e Intercambiador Plaza Elíptica), a bordo de tren y autobús, oficinas de información turística de Toledo y mediante encuesta en página web (colectivo de empresarios y funcionarios).

La encuesta analiza la movilidad del corredor Madrid-Toledo-Aeropuerto, diferenciando entre la situación actual (se accede al Aeropuerto a través del sistema metropolitano de transporte de Madrid) y el nuevo escenario en que se incorpora la nueva infraestructura ferroviaria Atocha-Aeropuerto. En este nuevo escenario se plantea una

situación de cooperación intermodal (alta velocidad-avión) y de competencia intermodal de AVE con todos los modos.

La encuesta diferencia dos tipos de viajeros: por motivo de movilidad obligada (trabajo y estudios) y no obligada (turismo). El cuestionario incluye preguntas sobre el *perfil socio-económico* (sexo, salario, categoría profesional, lugar de la encuesta, edad) y el *perfil de movilidad* (motivo de movilidad, origen y destino, frecuencia de uso, tiempos de acceso, modos de acceso y dispersión, etc.).

Metodológicamente se plantean dos tipos de obtención de información: Preferencias Reveladas que analizan el perfil de la movilidad actual (perfil socioeconómico del viajero y de la movilidad) y Preferencias Declaradas que permiten valorar las decisiones de elección entre modos de transporte en diferentes escenarios de movilidad, ante la puesta en marcha de la nueva infraestructura ferroviaria (Atocha-Aeropuerto).

### ***Perfil socio-económico del viajero***

- sexo: un 54% son hombres, mientras que un 46% son mujeres. En el modo obligado la proporción de hombres es superior (58%) respecto al modo no obligado (55%).
- edad por rangos: el 44% de los entrevistados se encuentra entre los 18 a 33 años, seguido del grupo de 34 a 49 años con el 36% y el grupo de 50 a 64 años 16%. El 4% restante pertenece al grupo de mayores de 65 años.
- actividad profesional: 4 de cada 10 encuestados son asalariados privados, el 23% son asalariados públicos; el 16% son estudiantes y un 12% son autónomos/empresarios.
- ingresos mensuales: un 39% está en la banda de 1001 a 2000€ y un 31% no llega a los 1000€; un 20% está por debajo de los 600€.
- motivo del viaje: un 51% viaja por motivo obligado, mientras que un 40% lo hace por motivos no obligados (turismo/vacaciones). Las personas que viajan por motivo obligado lo hacen solas, mientras que las personas que viajan por motivos no obligados realizan sus viajes en compañía de al menos otra persona.

- modo de transporte: un 42% de los encuestados utiliza el AVE, el 35% el autobús como modo de transporte para realizar su viaje y un 23% lo hace en coche.

### ***Perfil de la movilidad obligada***

- el perfil del viajero tipo: es un hombre/mujer entre 18-49 años (86%), con un nivel salarial entre 1.001-2.000 € (40%) para el asalariado y por debajo de los 600€ para los estudiante.
- la frecuencia del desplazamiento es superior a 20 veces al año (70%).
- origen del viaje: La mayoría de los viajes por motivo obligado tienen su origen de la provincia de Toledo (82%), de ellos, un 83% proceden de la ciudad y el resto de los municipios del entorno.
- el destino más común es nacional, principalmente Madrid (74%), mientras que un 8% tiene un destino internacional, especialmente Europa.
- Título de transporte: en su mayoría usan billete sencillo (36%), abono autobús (28%) y tarjeta plus AVE (21%). El lugar de compra es, principalmente, la propia estación (55%) y destaca internet con un 21%. El tiempo de adquisición de los billetes es principalmente de una semana de antelación (37%) o el mismo día (23%).
- los motivos que influyen en el modo elegido son: en autobús, el precio (48%); en AVE, la rapidez y comodidad (84%) y en coche, la comodidad (38%).

### ***Perfil de la movilidad no obligada***

- el origen del viaje es en su mayoría nacional. Para más de la mitad de los turistas, Toledo ocupa el primer y único destino de su viaje. Respecto al origen del visitante, en su mayoría procede de Madrid (68%).
- los viajeros que proceden de Barajas-aeropuerto y llegan a Toledo lo hacen, principalmente, a través del AVE. El resto de turistas que llegan a esta ciudad utilizan el coche en su mayoría.
- los visitantes de Toledo disponen, normalmente, de uno a dos días de vacaciones (55%) y llega a pernoctar una noche (el 36%).

---

## 2.4. Análisis de las Preferencias Declaradas

---

El análisis de los datos de preferencia declaradas (encuesta PD) permite la aplicación de modelos de elección discreta que tratan de evaluar el impacto de variables relevantes. Se han planteado dos especificaciones de modelos de elección discreta: Logit multinomial y Logit mixto. Las variables incluidas son: costes asociados al modo elegido, tiempo total empleado en el trayecto, comodidad (medida por el número de transbordos), el precio a pagar y los días de estancia.

El coste del viaje está expresado en €, el tiempo en minutos y la comodidad en número de transbordos. Se han utilizado también como variables explicativas las variables socio-demográficas y de estilo de vida; así como, variables relacionadas con las razones por las que viaja. Las estimaciones del modelo se han realizado mediante el módulo *mlogit* de R.

- El tiempo invertido en el trayecto y los días de estancias son las variables que causan mayor impacto en la decisión del modo de transporte elegido. Así, cuanto mayor es el número de días de estancia, la probabilidad de elección del AVE aumenta significativamente. Del mismo modo, un aumento del tiempo invertido en el trayecto tiene un impacto negativo en la elección del modo.
- Se ha observado una No linealidad en la variable tiempo, que nos indica que a partir de cierto valor, aparece una muy significativa reducción de la probabilidad de elección del modo de transporte vehículo privado. Ello hace suponer que en hora punta, el modo de transporte se inclina a favor del AVE.
- La comodidad, medida como número de transbordos, tiene un impacto positivo en la probabilidad de elección del AVE. De manera que, con 0 transbordos la probabilidad de elección de AVE es muy alta.
- Esta variable presenta un truncamiento en el nivel 0 transbordos, lo que nos indica que en este nivel, el modo de elección AVE es prácticamente inelástico.
- El precio y el coste del parking, son dos variables que tienen un impacto significativo, pero de menor entidad que las otras variables de referencia. La razón puede encontrarse en que en la mayoría de los casos el motivo del viaje era por trabajo y por ello, entendemos que todos los costes corren por cuenta de la



empresa, lo que podría explicar el impacto relativo de estas variable respecto a la comodidad, tiempo y días de estancia.

- Por último, se ha calculado el precio del tiempo en términos del modo vehículo privado y autobús. En el primer caso, el valor económico se estima entre 18 y 20 euros y en entre 12,50 y 13 euros en el caso del autobús.

---

## ***2.5. Conclusión***

---

El estudio del corredor Madrid-Toledo permite extraer algunas conclusiones y recomendaciones de cara a las políticas de integración entre los modos de transporte, en particular, entre el modo alta velocidad y aéreo. La puesta en marcha de la nueva infraestructura del corredor ferroviario Atocha-Aeropuerto permite cambios en la movilidad: situación de competencia del AVE con otros modos de transporte en media distancia (hasta 600km) y cooperación AVE-aéreo en largos recorridos (más de 600 km).

En el contexto del “caso Madrid-Toledo” se destaca la necesidad de mejorar el acceso y dispersión de los viajeros en la Estación de AVE, mejorando su interconexión con la red de transportes urbana e interurbana de la ciudad de Toledo.

---

## RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 3:

### AEROPUERTO Y AVE MÁLAGA

---

#### *3.1. Introducción*

---

Tradicionalmente, la coexistencia de varios modos de transporte en una misma ruta se ha producido de una manera **competitiva**, entendida como la decisión por parte de los distintos operadores de operar simultáneamente la misma ruta de transporte, de manera que los usuarios puedan optar por viajar en cualquiera de los modos. Sin embargo, recientemente han aparecido ciertos acuerdos de **cooperación** entre modos diferentes, a través de los cuales las empresas tratan de hacer uso de las sinergias que surgen al combinar convenientemente diferentes modos de transporte. En este caso extremo, los usuarios ya no podrían elegir entre modos, ya que ambos se han integrado en una única oferta de transporte.

Los modos aéreo y ferroviario de alta velocidad son un claro ejemplo de *competencia intermodal*, y cada vez más de *cooperación* entre modos, especialmente en rutas inferiores a los 600-800 kilómetros. No obstante, hasta el momento la mayor parte de los acuerdos intermodales los encontramos en países como Francia o Alemania, siendo bastante escasos en el caso de España.

---

#### *3.2. El caso Málaga*

---

Teniendo en cuenta los beneficios que este tipo de acuerdos intermodales pueden generar en algunos casos, así como el marcado desarrollo de la red ferroviaria de alta velocidad que se está llevando a cabo actualmente en España, en este trabajo se propone evaluar y comparar los beneficios y los costes asociados a las estrategias de *competencia* y *cooperación* en un sistema de transporte intermodal que combine el transporte aéreo y ferroviario de alta velocidad, utilizando como unidad de estudio del caso específico de la ruta Málaga-Madrid. Esta ruta cuenta con una línea de alta velocidad desde diciembre de 2007, y desde su

---

apertura ha generado una importante disminución en el número de pasajeros transportados por vía aérea en esta ruta.

Debe matizarse que la evaluación de la construcción de la línea de alta velocidad entre ambas ciudades no forma parte del objetivo de este análisis; de hecho, en la evaluación se considerará dicha inversión como un coste hundido, toda vez que se trata de una infraestructura ya construida y donde la inversión no es recuperable.

Partiendo de este hecho, en este ejercicio de evaluación se tratará de comparar, utilizando la metodología del análisis coste-beneficio, la situación actual de la ruta Málaga-Madrid, en la que ambos modos de transporte compiten (situación *en competencia*), con otro escenario teórico en el que se asume, como punto de partida, que todos los pasajeros cambian del transporte aéreo al tren de alta velocidad como resultado de una estrategia de cooperación entre las compañías aéreas y la empresa ferroviaria de alta velocidad (situación *con cooperación*).

El Aeropuerto de Málaga es uno de los aeródromos españoles con más densidad de tráfico tras acoger en sus instalaciones más de 11 millones de pasajeros en 2009. La ruta Málaga-Madrid, además, supone la ruta doméstica de mayor tráfico de este aeropuerto, y una de las más importantes a nivel nacional. Sin embargo, la inauguración de una línea ferroviaria de alta velocidad entre ambas ciudades en diciembre de 2007 se ha traducido en un descenso sustancial en el tráfico aéreo en esta ruta, tras pasar de más de 1,5 millones de pasajeros transportados en 2007 a apenas 700.000 en 2009.

En la actualidad, tres aerolíneas operan en esta ruta con conexiones directas (Iberia, Spanair y Air Europa, esta última en régimen de código compartido con Spanair), sumando en total entre 6 y 8 enlaces diarios por sentido (52 conexiones semanales en ambos sentidos). La duración del trayecto es de 1 hora y 5 minutos, y el precio del billete oscila entre 29 y 255 euros.

Por su parte, el modo ferroviario de alta velocidad cuenta con entre 8 y 14 conexiones diarias por sentido (84 enlaces semanales), contando únicamente con Renfe como empresa proveedora de servicios de transporte. En este caso, la duración del trayecto aumenta hasta las 2 horas 25 minutos – 2 horas 50 minutos (dependiendo del número de paradas que realice), por un precio que se sitúa entre los 34,30 y los 154,30 euros.

No obstante, además del tiempo *dentro del vehículo*, deben tenerse en cuenta los tiempos de *acceso, espera y egreso*. Para poder comparar convenientemente estos tiempos entre

ambos modos de transporte, hemos considerado un pasajero que se mueve desde la Plaza de la Constitución (Málaga) hasta la Puerta del Sol (Madrid), o viceversa. Teniendo en cuenta esto, se comprueba que el modo ferroviario cuenta con importantes ventajas en cuanto a los tiempos totales de viaje para los pasajeros que viajan de punto a punto, hecho que puede encontrarse detrás del notable descenso de pasajeros del modo aéreo a favor del ferroviario de alta velocidad experimentado en los últimos años.

Sin embargo, no todos los usuarios de la ruta tienen Madrid como destino final, y simplemente se desplazan hasta la capital de España con la intención de utilizarla como nodo de enlace hacia otros destinos. De este modo, podemos dividir los usuarios de la ruta Málaga-Madrid en varios tipos:

1. Usuarios ***Tipo 1***: aquellos pasajeros que viajan de punto a punto entre Málaga y Madrid. Teniendo en cuenta los tiempos medios de viaje del AVE y del avión y sus precios medios, supondremos que este tipo de pasajeros cubre actualmente esta ruta en alta velocidad.
2. Usuarios ***Tipo 2***: aquellos pasajeros que conectan con otros destinos en Madrid por vía aérea. Teniendo en cuenta las posibilidades actuales de conexión entre los modos aéreo y ferroviario en Madrid, claramente costosas para los usuarios en términos de tiempo y de coste monetario, supondremos que el trayecto realizado entre Madrid y Málaga se realiza igualmente en avión.
3. Usuarios ***Tipo 3***: incluye a los usuarios que conectan con otros destinos en Madrid a través de alta velocidad ferroviaria. Por el mismo motivo enunciado anteriormente, supondremos que este tipo de usuarios realiza el trayecto entre Madrid y Málaga en tren de alta velocidad, para lo cual deberán desplazarse desde la Estación Puerta de Atocha hasta la Estación de Chamartín.

Teniendo en cuenta todo esto, en este trabajo se plantea la evaluación de los efectos que entrañaría para la sociedad el que ambos modos de transporte optaran por una estrategia de ***cooperación*** en lugar de la de ***competencia*** que actualmente llevan a cabo, es decir, tal y como apuntábamos anteriormente, analizaremos inicialmente una situación hipotética en la que se produjera la desaparición del modo aéreo en el corredor Málaga-Madrid, donde la demanda de servicios de transporte quedaría únicamente satisfecha por el ferrocarril de alta velocidad en dicho corredor.

---

### 3.3. Introducción de la Intermodalidad

---

La integración de ambos modos en una misma oferta de transporte llevaría aparejado el establecimiento de un sistema de gestión conjunto por parte de los operadores actuales, así como la puesta en marcha de ciertos servicios que atraigan a los usuarios a este nuevo sistema, tales como la emisión de un billete único para todo el trayecto así como la provisión de suficiente información a los usuarios o la mejora de la manipulación del equipaje. Del mismo modo, sería necesario mejorar en la medida de lo posible el sistema de conexión entre la Estación Puerta de Atocha y el Aeropuerto de Barajas en Madrid, de modo que se facilite el desplazamiento entre ambos modos a aquellos usuarios que conectan en Madrid con otros destinos vía avión (usuarios *Tipo 2*). En este sentido, las posibilidades de conexión intermodal que se han considerado son:

- (i) Uso de la red de Metro de Madrid.
- (ii) Realizar la conexión mediante líneas discrecionales de autobuses que conecten la Estación Puerta de Atocha y el Aeropuerto Madrid-Barajas.

Con el fin de poder comparar de manera apropiada las situaciones de competencia y cooperación, este análisis ha sido emprendido considerando que los operadores de transporte que participen en el acuerdo de cooperación llevarán a cabo las medidas e inversiones necesarias (como por ejemplo la emisión de un billete único para todo el viaje o la mejora de la gestión del equipaje facturado) que hagan reducir las incomodidades soportadas por los pasajeros para que esta opción les llegue a ser realmente satisfactoria.

Una vez identificada la situación actual del corredor, y definida la situación hipotética, se procede a estimar los niveles de demanda futuros en la línea y a evaluar mediante la metodología del análisis coste-beneficio los cambios que generaría a la sociedad la adopción de una estrategia de *cooperación* de los modos aéreo y ferroviario, tanto para el caso en el que se utilice el Metro de Madrid como sistema de conexión entre modos, como para el caso en el que se emplee el sistema discrecional de autobuses.

Tras esto, se comprueba que la integración de modos arroja un **beneficio social esperado mayor cuando se utilizan autobuses para realizar la conexión intermodal en Madrid, cifrado en casi 600 millones de euros**, una cantidad bastante notable y asociada a una probabilidad de obtener un valor negativo muy baja. Debe recalcarse que este beneficio se obtiene **cuando se considera el coste de inversión de la infraestructura ferroviaria de alta velocidad como un coste hundido**, dado que es una

infraestructura que ya se encuentra construida en la actualidad; de hecho, la inclusión en el análisis de los costes relativos a su construcción hubiera propiciado con total seguridad unos resultados muy diferentes a los obtenidos. Del mismo modo, es muy importante recalcar que en estos resultados **no se incluye tampoco el coste inherente** a la implantación de un sistema de **gestión integrada** entre los operadores que participan del acuerdo, así como los relativos a los **servicios a los usuarios** descritos anteriormente por no haber sido posible aproximar de una manera realista este valor. **Por tanto, los resultados obtenidos dependen crucialmente de este supuesto. De haberse incluido dichos costes la probabilidad de obtener un VAN negativo se elevaría sustancialmente.**

Diferenciando por agentes y para el caso de uso de autobuses como sistema de conexión se observa que los usuarios *Tipo 2* se ven favorecidos por la cooperación entre modos, contabilizando unos beneficios superiores a los 115 millones de euros (consecuencia de la disminución de los tiempos de acceso y espera y del precio del billete de transporte, así como de un mayor confort en el modo de viaje elegido).

Por lo que respecta a los operadores de infraestructuras, destaca el beneficio de alrededor de 300 millones de euros que obtendría Adif, frente a las pérdidas de 42 millones que experimentaría AENA.

Los operadores de servicios de transporte se verían igualmente favorecidos por una estrategia de cooperación intermodal. Así, las aerolíneas obtendrían un beneficio de unos 300 millones de euros, mientras que la operadora ferroviaria Renfe experimentaría unas ganancias que rondarían los 120 millones de euros, como consecuencia del incremento de pasajeros que registraría.

Estas cifras contrastan con el impacto medioambiental que genera la integración entre modos. Muchos son los documentos que alaban las bondades de la alta velocidad ferroviaria en comparación con el transporte aéreo en lo que se refiere al impacto generado sobre el medio ambiente, si bien debería matizarse tal afirmación. En este documento hemos analizado por separado los efectos que la eliminación del transporte aéreo genera sobre la reducción de la polución emitida a la atmósfera, así como el efecto neto relativo al ruido que soportan las poblaciones cercanas a las infraestructuras aéreas y ferroviarias. Así, a la luz de los resultados obtenidos para el caso de uso de autobuses como sistema de conexión, se comprueba que la sustitución de los aviones por trenes de alta velocidad

genera un beneficio a la sociedad derivado de la menor emisión de polución a la atmósfera que queda cifrado en unos 53 millones de euros, al tiempo que el mayor impacto generado por el ruido de los trenes sobre las poblaciones aledañas se traduce en un coste social superior a los 219 millones de euros. De esta manera, el impacto neto de la cooperación sobre el medio ambiente sería negativo. Ha de apuntarse igualmente que, si se hubiera incluido en el análisis el impacto medioambiental derivado de la construcción de la línea de alta velocidad, las diferencias en cuanto a la polución emitida a la atmósfera entre ambos modos habrían sido mucho menores, e incluso podrían haber sido mayores en el caso del modo ferroviario.

---

### ***3.4. Conclusiones***

---

Teniendo en cuenta los efectos soportados por cada uno de los agentes, así como la no inclusión en el análisis de **los costes derivados de ciertos aspectos** como la gestión integrada de los operadores, la mejora de la manipulación del equipaje o la provisión de una mayor cantidad de información (aspectos considerados como cruciales para garantizar un funcionamiento eficaz del sistema intermodal y la aceptación del mismo por parte de los usuarios), podemos decir que **la integración sería beneficiosa para la sociedad sólo cuando los costes esperados necesarios para que dicha integración fuese posible no fuesen superiores al VAN social esperado obtenido en esta evaluación ni hicieran que la probabilidad de obtener un valor del VAN negativo fuese superior al que la sociedad está dispuesta a soportar.**

---

## **RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 4:**

### **RUTAS CANARIAS - PENÍNSULA**

---

#### ***4.1. Introducción***

---

A pesar de los problemas de competencia que pueden aparecer asociados al desarrollo de sistemas intermodales de transporte, la cooperación entre diferentes operadores puede reportar grandes beneficios a nivel social, especialmente ante circunstancias de congestión en aeropuertos. No en vano, la Unión Europea, en el Libro Blanco del Transporte de 2001 reconoce la habilidad de la red ferroviaria de alta velocidad para sustituir al modo aéreo en determinadas conexiones, que además de favorecer a los usuarios permitiera unos menores costes medioambientales así como un uso más eficiente de las infraestructuras de transporte.

Sin embargo, el desarrollo de un sistema intermodal competitivo y beneficioso para la sociedad requiere de la concurrencia de determinadas circunstancias. Así, la competitividad del transporte ferroviario de alta velocidad frente al modo aéreo se diluye cuando la distancia de la ruta excede los 600-800 km. (Givoni, 2005; Commission for Integrated Transport, 2004; Givoni y Banister, 2007), distancia a partir de la cual el transporte aéreo se hace más atractivo a los usuarios. Igualmente, y en aras a garantizar el bienestar de los consumidores de los servicios de transporte, la integración entre modos debe llevar aparejada necesariamente una correcta coordinación entre operadores así como la disponibilidad de infraestructuras que faciliten en lo posible la conexión entre modos, así como la provisión de servicios de seguridad o transporte de equipaje, entre otros.

---

#### ***4.2. Caso de estudio: Rutas Canarias- Península***

---

En el presente caso de estudio se analiza la competitividad de una nueva alternativa intermodal que se introduce de manera hipotética y que se ha denominado AEROAVE, frente a la situación real de mercado existente de escoger AVIÓN- AVIÓN en las rutas



seleccionadas entre el aeropuerto de Gran Canaria y cualquier otra ciudad de la Península Ibérica.

En este caso de estudio, la nueva alternativa AEROAVE se ha basado en el segundo bloque del segundo informe de seguimiento, donde se ha definido el servicio intermodal AVIÓN/AVE en el aeropuerto de Madrid Barajas. A la hora de diseñar el experimento de preferencias declaradas (PDs) que se ha utilizado, se han tenido en cuenta los resultados de dicho bloque en relación a los diferentes elementos de infraestructura y coordinación entre operadores que son importantes a la hora de garantizar la satisfacción de los usuarios. En este sentido y teniendo en consideración el número de atributos a incluir en el experimento, se tuvo en cuenta que las dimensiones que el viajero valora en los productos intermodales son el tiempo total de viaje (puerta a puerta), el precio, la gestión del equipaje y la gestión integrada de la reserva. Dada nuestra experiencia en estudios de esta naturaleza, el tiempo total de viaje se divide en tiempo de viaje en vehículo, tiempo de conexión y el tiempo de egreso en el destino final del viaje. Es evidente que aspectos de tipo cualitativo como la posibilidad de obtener las tarjetas de embarque integradas, la visibilidad de la oferta o la propia integración de los canales de distribución son también aspectos importantes que los operadores tienen que valorar, pero no se han incluido ya que se supone que si existe un compromiso de plantear esta nueva alternativa, estas premisas tienen que estar garantizadas.

En resumen, el presente caso de estudio pretende analizar la competitividad entre ambas modalidades de transporte, intentando conocer cuáles son los atributos más relevantes que inducen a que el usuario potencial modifique su elección de conectar en Madrid-Barajas a través del AVE en lugar de elegir la alternativa del AVIÓN. Para ello han de conocerse sus preferencias con el objetivo de poder comparar el grado de satisfacción experimentado.

---

### ***4.3. Metodología***

---

En esta línea, el enfoque metodológico utilizado, como ya se ha expresado anteriormente, presenta su base en el diseño de un experimento de preferencias declaradas (PDs), enmarcado dentro de los modelos de elección discreta. Este método permite modelizar el comportamiento del usuario con el fin de revelar un nivel de satisfacción global y así obtener importantes valoraciones económicas a la hora de analizar la competitividad de la nueva integración modal.

Para el análisis de las preferencias se diseñó un cuestionario a través del programa informático “Sawtooth”, de las que se obtuvieron un total de 875 encuestas válidas. Estas encuestas tratan de recoger los aspectos más relevantes que influyen en la decisión de elección de las alternativas (coste de viaje, tiempo de viaje en el vehículo, tiempo de espera en la conexión, tiempo de acceso al destino final, integración del billete e integración de equipaje), así como información socioeconómica a nivel de individuo y de hogar.

---

#### **4.4. Resultados**

---

En lo relativo al análisis descriptivo, los datos nos revelan que la mayor parte de la muestra es residente en las islas y que los destinos de viaje con mayor frecuencia son las provincias de Galicia, Andalucía y Levante. Esta frecuencia en su mayor parte se encuentra entre uno y tres viajes al año, existiendo un grupo no insignificante de viajeros con una estancia de siete o más días. Además, se observa que el ocio y el trabajo son los motivos principales del viaje y que en la muestra han sido entrevistados más hombres que mujeres. Además, los resultados nos informan que el usuario representativo tiene alrededor de 42 años y que el nivel de renta del hogar es medio-alto.

Asimismo, con respecto a los tiempos de conexión, podemos observar que la mayoría de los viajeros tardan en conectar más de 60 minutos. Este aspecto resultaría favorable para el AVE si con una gestión eficiente los tiempos de conexión resultaran menores. Además, cabe destacar que un grupo dominante presenta como destino final de su viaje el centro de la capital de la provincia de destino. Este aspecto resulta de especial interés al considerar que las estaciones normalmente son más accesibles al centro de las ciudades que los aeropuertos.

El experimento de preferencias declaradas nos ha revelado que los pasajeros valoran de forma más significativa el tiempo de viaje, seguido del coste, a la hora de elegir entre ambos modos de transporte. De hecho, este aspecto se pone de manifiesto en la estimación del modelo donde estos parámetros son los que presentan una mayor significatividad.

Otro aspecto a considerar radica en el número de maletas facturadas. Los datos nos revelan que la mayoría de los usuarios facturan al menos una maleta. No obstante, en la estimación realizada se constata que la variable “integración de equipaje” no resulta significativa por sí misma, lo que quiere decir que invertir en la distribución del equipaje no

resulta especialmente atractivo para el conjunto de usuarios. Son los pasajeros que facturan equipaje y viajan por motivos de ocio los que más valoran dicho atributo a la hora de escoger la alternativa, no siendo muy relevante para el resto. Las estimaciones corroboran que existe una mayor disposición a pagar por la integración tarifaria que por la integración del equipaje, evidenciando la mayor importancia que tiene este atributo y, por consiguiente, informándonos de la mayor demanda hacia la nueva alternativa en el caso de que se decidan aplicar políticas de integración de tarifas.

---

#### ***4.5. Conclusiones***

---

El estudio enfatiza que para que la integración entre avión y tren de alta velocidad sea potencialmente competitiva, no basta con que las infraestructuras estén bien integradas y los tiempos de conexión se encuentren en un rango razonable. Lo que determina si un viajero se termina cambiando de modo, resultando más atractivo la nueva alternativa, es el conjunto de atributos en los que hay que considerar el tiempo total de viaje en el vehículo, el tiempo de conexión, el tiempo de acceso al destino final y la integración tarifaria. También hay que tener en cuenta que la integración de equipaje es importante para los viajeros que facturan equipaje y viajan por motivos de ocio.

El caso de estudio también muestra evidencia de uno valores de tiempo de viaje y conexión cuando el motivo del viaje es obligado, entendiendo por tal a los viajes que se realizan por trabajo o estudios. Además, se sugiere que la puntualidad y la seguridad son dos de los atributos más importantes que puede exhibir el tren de alta velocidad para que los viajeros prefieran el trasvase intermodal.

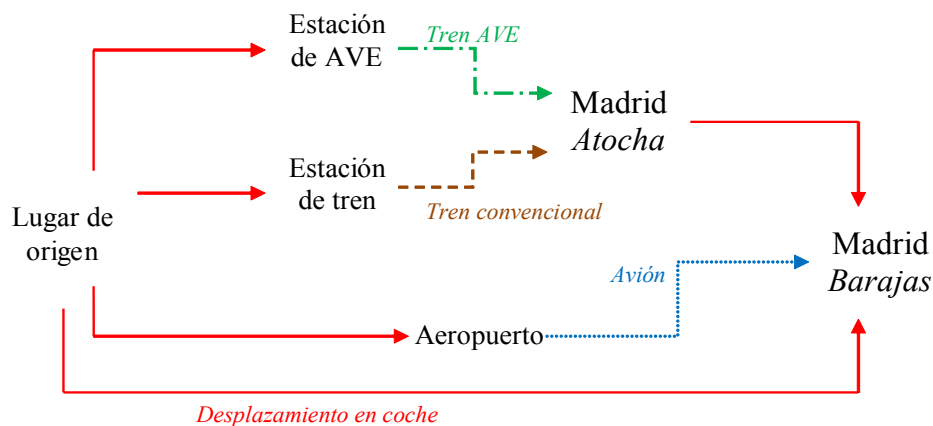
## RESULTADO Y CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO 5:

### INTERMODALIDAD EN EL AEROPUERTO MADRID – BARAJAS: IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

#### 5.1. Introducción

Este estudio se centra en el análisis de las repercusiones de la construcción de una estación de AVE en Barajas tanto sobre la movilidad de la población española, como en términos de impacto medio-ambiental, en particular de la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera. Para ello, se ha creado un modelo de red a escala nacional, que incluye los principales medios de transporte disponibles, basado en la Teoría de Grafos. Se simula el movimiento de viajeros desde cualquier punto de la España peninsular hasta el aeropuerto de Madrid-Barajas, para allí enlazar con un vuelo intercontinental. Para llegar a Barajas, los usuarios pueden elegir entre distintos modos de transporte (transporte en vehículo privado, tren convencional, tren de alta velocidad o avión), y se reparten entre ellos en función de la utilidad de cada modo, que a su vez depende de la hora del día, del coste del viaje, y de los horarios programados.

*Figura 1. Esquema de las alternativas de transporte a disposición del usuario*



Mediante un modelo de demanda agregada se calcula la utilidad de cada medio para los usuarios, que incorpora el tiempo y coste del trayecto, el tiempo de espera y la sensibilidad de los usuarios ante estos factores. La utilidad proporciona la probabilidad de que uno u otro medio sea escogido para un desplazamiento, permitiendo a su vez estimar los valores medios de los observables de interés: el tiempo de desplazamiento, la utilidad de los medios y el impacto ambiental, restringido en este estudio a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El análisis se ha realizado comparando la situación actual con una situación en la que se considera que existe una estación de AVE en Barajas y en la que, por tanto, los trenes llegan hasta el aeropuerto, con el fin de estudiar el impacto de esta medida sobre los observables mencionados. En este escenario supuesto, se ha considerado que el resto de variables permanecen fijas (no hay coordinación de horarios AVE-avión, no existe integración del tratamiento de equipajes entre modos, etc.) y que el coste y las emisiones derivadas de la construcción de la infraestructura es un coste hundido.

Esta sección resume los principales aspectos del estudio realizado, tanto en cuanto a modelado como en cuanto a resultados y conclusiones, pudiéndose encontrar el informe detallado completo en el Anexo V.

---

## ***5.2. Tiempos y Costes de Desplazamientos***

---

Uno de los criterios más relevantes al escoger un medio de transporte es el tiempo “puerta a puerta” que el usuario ha de invertir para llegar a su destino desde su domicilio. La casuística de los distintos medios (tren, avión y coche), es bien distinta:

- los dos primeros requieren adaptarse a los horarios disponibles, y hay que añadir:
  - el tiempo requerido para llegar a la estación de origen desde el domicilio, así como el posible tiempo de espera en Barajas -dada la naturaleza discreta de los desplazamientos- y en el caso del tren, el tiempo de desplazamiento desde la estación de Atocha a Barajas, para el estudio de la situación actual;
- el usuario de coche, por su parte, puede escoger el momento de salida que más le convenga para minimizar el tiempo de espera, pero ha de añadir un tiempo de aparcamiento en Barajas.

El modelado de los tiempos necesarios en avión y tren se ha realizado mediante un grafo cuyos nodos principales son los puntos geográficos de origen y destino. Para representar la

variable temporal se utiliza un grafo que incluye una representación temporal mediante un mecanismo sencillo ('scheduled network'): el grafo contiene nodos intermedios entre dos puntos geográficos conectados, que representan el número de unidades temporales arbitrarias requeridas para acceder de A a B. Así, dos conexiones entre A y B podrían tener dos o cuatro nodos intermedios, requiriendo la segunda posibilidad el doble de tiempo que la primera, por ejemplo. Como los desplazamientos no están disponibles en cualquier momento, la primera arista que conecta dos lugares estará activa sólo si es posible iniciar un desplazamiento en ese momento. La información para construir el grafo, es decir la frecuencia horaria de los trayectos existentes en tren y avión, se han obtenido de las páginas de Renfe ([www.renfe.es](http://www.renfe.es)) e Iberia ([www.iberia.com](http://www.iberia.com)), respectivamente, con datos de 2009. Restringirse al uso de los horarios de la compañía mayoritaria facilita el modelado sin pérdida de validez o generalidad en sus resultados. El estado de un pasajero se representa por un vector (geográfico) que evoluciona en el tiempo tras sucesivas aplicaciones de la matriz de adyacencia, que contiene la información necesaria para reproducir el grafo descrito. Este mecanismo permite obtener, con un coste computacional relativamente bajo, el camino más rápido entre dos nodos de la red.

El modelado de un viaje en coche es bastante más simple. Cada recorrido entre dos puntos de la geografía española se divide en un primer tramo urbano, con una velocidad media de 30 km/h, y un segundo tramo interurbano a 90 km/h, al que añadir el tiempo requerido para estacionar el coche en Barajas, que se considera fijo en el modelo, e igual a 30 minutos.

El modelo estima la hora de salida a partir de la hora de llegada requerida, buscando la disponibilidad de horarios por tren y avión que permiten llegar a tiempo para realizar la conexión, o, en el caso del coche, teniendo en cuenta la distancia. El tiempo total de cada modo se calcula con el tiempo requerido para el trayecto y los posibles tiempos de espera en Barajas en el caso de tren y avión.

Dado que los vuelos regionales para incentivar los trayectos internacionales no suelen aumentar el precio global, se ha considerado nulo el coste de aproximación a Barajas en avión. Para el tren se han utilizado los precios proporcionados por Renfe considerando que la compra se realiza con un mes de antelación, y para el coche se utilizará la estimación de 0.2€/km (Martín y Nombela, 2008).

---

### 5.3. Utilidad de los Medios de Transporte

---

La decisión final del usuario depende de su sensibilidad a distintos factores como el coste del desplazamiento ( $C_m$ ) o los tiempos de trayecto ( $T_m$ ) y espera ( $E_m$ ). Pesando estos factores con las respectivas sensibilidades de los usuarios hacia ellos ( $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\beta'$ , respectivamente) y añadiendo las preferencias personales mediante el parámetro  $k_m$ , se estima la utilidad  $U_m$  de cada modo de transporte  $m$ , mediante una aproximación agregada:

$$U_m = k_m + \alpha C_m + \beta T_m + \beta' E_m$$

Este modelo agregado reduce el coste computacional, ya que no es necesario simular comportamientos individuales.

Los valores para los parámetros de sensibilidad se extraen del citado estudio de Martín y Nombela:

-0.00712 (sensibilidad a las tarifas de trenes y aviones), -0.018 (costes de aparcamientos y taxis),

-0.36 (tiempos de viaje) y -0.1044 (tiempos de espera).  $k_m$  se considera nulo en este estudio.

La probabilidad de elección de un determinado medio de transporte viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Prob}(m) = \frac{\exp U_m}{\sum_j \exp U_j}$$

Esta probabilidad permite calcular los valores medios de las métricas de interés, conociendo los valores de cada modalidad: tiempo de viaje y espera, emisión de  $\text{CO}_2$  o coste del desplazamiento. El tiempo medio de viaje, por ejemplo, viene dado por la siguiente expresión:

$$\bar{T} = \sum_j (T_j + E_j) \text{Prob}(j)$$

---

### 5.4. Modelo de Impacto Medioambiental

---

En este trabajo, el estudio del impacto medioambiental se ha centrado en las emisiones de  $\text{CO}_2$ . Para estimar las emisiones de los desplazamientos como media ponderada de las emitidas por los tres modos de transporte considerados, han de estimarse primero las

emisiones de cada medio separadamente. En este sentido cabe destacar que, al igual que en la valoración del coste se ha considerado coste hundido el coste de la infraestructura, en el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> se consideran “coste hundido” las emisiones derivadas de la construcción de las infraestructuras, considerándose exclusivamente las relacionadas con la operación.

Se estima que el desplazamiento en coche, considerando la composición de la flota de vehículos española, es de 0.06624 kg de CO<sub>2</sub> por pasajero y kilómetro (Pérez y Monzón 2008), y se supone una ocupación media de 1.6 pasajeros por coche (Eurostat, 2001). Las emisiones ferroviarias se estiman suponiendo un 70% de ocupación de los trenes, utilizando los datos de consumo de Renfe y el CO<sub>2</sub> correspondiente a la generación eléctrica del mix energético español de julio del 2009 —ver anexo para obtener la distribución de fuentes. Para el tráfico aéreo se consideran las emisiones derivadas del combustible utilizado, que son 29 gramos por asiento y kilómetro para vuelos de corta distancia (menos de 350 Km.), y 25 gramos para vuelos de larga distancia (Knörr, 2008), suponiendo también una ocupación del 70%.

---

### **5.5. Resultados**

---

Con el modelo descrito anteriormente se han calculado los valores medios —pesados con la probabilidad de elección de cada modo— de tiempo empleado, utilidad y emisiones por los desplazamientos desde otros puntos de la Península al aeropuerto de Madrid-Barajas. Para cada indicador, se ha comparado la situación actual con un escenario en el que los trenes llegan hasta el mismo aeropuerto de Madrid-Barajas.

A modo ilustrativo se muestran los valores de las tres métricas en dos momentos del día (las horas representan la hora a la que el pasajero debe estar en el aeropuerto de Madrid-Barajas para que le dé tiempo a embarcar en el vuelo intercontinental), donde en una escala de colores se representan los valores de las variables calculadas que se asignan al punto geográfico correspondiente con el origen del desplazamiento.

Como es de esperar, los tiempos y la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida aumentan con la distancia a al aeropuerto de Madrid-Barajas y muestran mínimos locales alrededor de núcleos urbanos con presencia de transporte de alta velocidad en el sur y noreste de la Península. Las gráficas de duración muestran que, en las primeras horas del día, la duración del viaje es



larga para la mayoría de los puntos de la península, lo cual se atribuye a la falta de coordinación de horarios entre los trenes y los aviones: si es necesario estar en Madrid-Barajas a las 7:00 (situación habitual en muchos vuelos transoceánicos de Iberia), en la mayoría de los casos, si se pretende viajar en avión o tren, implica salir el día anterior para poder realizar la conexión, lo que aumenta considerablemente el tiempo de viaje. Por el contrario, si hay que estar en Madrid-Barajas a las 19:00, por ejemplo, habrá muchas más posibilidades de conexión, lo que reduce considerablemente el tiempo de viaje. La función de utilidad, entendida como la conveniencia de un modo de desplazamiento a Madrid-Barajas, muestra sus valores más altos en torno a centros urbanos, donde la oferta de alternativas a disposición del pasajero es mayor.

A continuación se evalúa la evolución de las mismas métricas en el escenario potencial en que existiera una estación de AVE en el Madrid-Barajas, con lo que a priori se espera reducir considerablemente el coste generalizado del desplazamiento en tren puesto que se elimina el trayecto Atocha-Barajas, aumentando así la utilidad del tren de alta velocidad frente a la del avión para los viajeros intermodales. Los valores mostrados están referidos al escenario actual, de forma que valores negativos indican reducción del valor medio representado respecto a su valor en 2009.

Como aspectos más destacables de los resultados obtenidos del modelo resalta que, en ciertas regiones, el tiempo de viaje aumenta. Esto es debido a que, al llegar el AVE hasta Madrid-Barajas, la utilidad de dicho modo de transporte aumenta aunque pueda ser más lento (que el avión en regiones alejadas de Madrid o que el coche en las más cercanas), por lo que viajeros que antes optaban por el avión o el coche, empezarían a viajar en AVE, aumentando así la duración media del trayecto. En el gráfico de las 19:00 ya se obtienen resultados de ahorro de tiempo en desplazamientos de distancia media conectados mediante AVE. Sin embargo, esta variación en el modo escogido por los viajeros, si bien no reduce el tiempo total, sí que disminuye significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub>, al igual que ocurre con la utilidad, que aumenta para todos los casos. Estos resultados reflejan que la mejora de la intermodalidad AVE-avión consigue disminuir el impacto medioambiental, ya que aumenta la preferencia por el AVE frente a otros modos de transporte.

---

## ***5.6. Conclusiones***

---

A continuación se exponen las conclusiones más destacadas derivadas de la comparación entre el escenario actual y un escenario futuro en el que se supone la llegada del AVE hasta

la propia terminal de Madrid-Barajas. Para la obtención de los resultados, se ha medido exclusivamente el impacto resultante de la operación, considerándose un coste hundido las emisiones generadas durante la construcción de las diferentes infraestructuras, así como su coste. La inclusión de estos valores en el modelo variaría notablemente los resultados.

- La construcción de una estación de AVE en Madrid-Barajas haría aumentar la utilidad del AVE, haciéndole ganar cuota de mercado, quitándosela al avión en los largos recorridos, y al coche en la zona periférica de Madrid, aunque el AVE no fuera la solución más rápida.
- El escenario futuro planteado, en el que se puede llegar con el AVE hasta Madrid-Barajas, reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de los desplazamientos considerados en un 10% gracias al aumento en la preferencia por el AVE.
- En el estudio se ha considerado exclusivamente el impacto de la construcción de la infraestructura, sin tener en cuenta ninguna variación en los modos de operación de las compañías involucradas. Sin embargo, se espera que en el futuro esta medida traiga consigo modificaciones: reducción de frecuencia de aviones, eliminación de algunas rutas de Iberia, etc.
- Una mayor coordinación de horarios AVE-avión reduciría la duración total del trayecto y haría aumentar la preferencia por el AVE, reduciéndose el impacto medioambiental global. En general, una mayor coordinación y cooperación entre los operadores de los diferentes modos, conseguiría resultados aún más beneficiosos para la sociedad y el medioambiente.
- El modelo desarrollado permite simular cualquier cambio que se realice en la red de transporte, y medir sus impactos para la ciudadanía y el medioambiente. Por consiguiente, se pueden realizar estudios de tipo *what-if* que permitan optimizar el desarrollo de futuras infraestructuras de transporte.