

Fedea Policy Papers - 2017/03

**Inversión y tarificación de infraestructuras de transporte**

Ginés de Rus  
(Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, FEDEA y  
Universidad Carlos III de Madrid)

M. Pilar Socorro  
(Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)

**fedea**

## **RESUMEN (NON TECHNICAL SUMMARY)**

La decisión de qué precio cobrar por el uso de una infraestructura pública y la evaluación económica previa del valor social de su construcción son inseparables si el gobierno está interesado en una planificación eficiente. La razón de la no separabilidad de tarificación e inversión es muy simple. Si no se fija el precio que se va a cobrar por el uso de la infraestructura no podemos predecir la demanda de dicha infraestructura ni la elección de capacidad en el caso de que exista más de una opción, siendo por tanto imposible calcular el beneficio social que se genera durante la vida del proyecto para comparar con los costes sociales en los que hay que incurrir.

En una planificación eficiente de las infraestructuras, tarificación e inversión no pueden separarse y menos cuando las infraestructuras son sustitutivas o complementarias como ocurre con los aeropuertos y la red de alta velocidad ferroviaria. En España se han construido dos grupos de infraestructuras (además de la red de carreteras) que resuelven un mismo problema de movilidad para los viajes domésticos interurbanos de media distancia. La red de aeropuertos y la red de alta velocidad ferroviaria se superponen en un conjunto de orígenes-destinos en los que las líneas de infraestructura de alta velocidad se han construido siempre con posterioridad a la aeroportuaria. Los resultados, medidos en términos de desviación de tráfico, han sido muy positivos para la nueva modalidad de transporte. Los efectos sobre las cuotas de mercado tren-avión han sido muy favorables para el tren, que en algunas líneas ha captado la práctica totalidad del tráfico y en todas se ha convertido en la primera opción de los usuarios.

La popularidad de los trenes de alta velocidad por sus características de rapidez, seguridad, confort y precios asequibles, junto con sus resultados en términos de cuota de mercado ha sido la principal línea argumental en defensa de una inversión pública directa que ya excede los 50.000 millones de euros. El problema es que es perfectamente posible que con ahorros marginales en el precio generalizado (precio del billete y tiempo invertido, fundamentalmente) del tren de alta velocidad con respecto al avión, se produzca el dominio del nuevo modo de transporte con ganancias de bienestar muy pequeñas

Los usuarios prefieren mayoritariamente el tren al avión porque el precio generalizado del primero (incluyendo tarifa y tiempo) es menor que el del segundo. Sin embargo, el precio del billete de tren sólo incluye el mantenimiento de la infraestructura y una pequeña contribución al coste fijo de su construcción. En este caso, el cambio de la distribución modal en beneficio del tren viene

explicada porque los usuarios del tren no pagan (o sólo lo hacen en una pequeña parte) por la costosa infraestructura que utilizan. Por tanto, el ferrocarril gana en este caso la batalla de la distribución modal sin que se garantice que se produzcan ganancias netas de bienestar social.

En este trabajo se realiza una ilustración numérica consistente en unir dos regiones separadas por 600 kms, utilizando parámetros similares al corredor Madrid-Barcelona que es la línea de mayor demanda en España. Los resultados obtenidos permiten concluir que, con la población existente y el número de viajes que se realizan en España, la opción de construir aeropuertos exclusivamente hubiese sido la opción socialmente óptima tanto si se cobra un precio que cubra los costes marginales a corto plazo y parte de los costes de construcción como si sólo se cobra un precio de acceso igual al coste marginal a corto plazo (subvencionando los costes de inversión).

Para que fuese socialmente rentable construir aeropuertos y la línea de alta velocidad, en lugar de solo aeropuertos, se requiere un volumen de usuarios que es muy superior al que actualmente tiene el corredor de tráfico de mayor volumen en España. A partir de un volumen mínimo de pasajeros es socialmente óptimo construir sólo la red de aeropuertos y es a partir de volúmenes de tráfico mucho mayores que los actuales cuando se justifica construir la red de alta velocidad superponiéndose a la ya existente aeroportuaria.

Otra conclusión es que frente a la irreversibilidad de las inversiones en infraestructura aeroportuaria y ferroviaria, el problema es mucho menor en el caso de la primera. No sólo porque la primera es menos costosa que la segunda sino porque el añadir nuevos tramos es más barato al necesitarse un aeropuerto adicional en lugar de dos, mientras que en la ferroviaria un nuevo tramo requiere construir otra infraestructura completa al ser el coste de las estaciones marginal en comparación con el coste de la vía. Además, el tren plantea un problema de indivisibilidad muy superior al del aeropuerto. Hay distintos tamaños de infraestructura aeroportuaria para distintos tamaños de población pero en ferrocarril hay que construir lo mismo para un millón de viajeros que para veinte.

El carácter irreversible de la inversión hace que, una vez que se han construido las líneas de alta velocidad en España sin justificación económica, estemos en un equilibrio subóptimo, siendo ahora mejor utilizar la red existente con la condición de que el usuario esté dispuesto a pagar el coste marginal social de utilizarla, que incluye los efectos negativos derivados de la desviación de tráfico. Es decir, la red ya existe y hay que utilizarla pero esta irreversibilidad no alcanza a lo que todavía no ha sido construido ya que el efecto red en este tipo de movilidad interurbana de punto a punto no es muy importante. Esto se traduce en que no hay por qué seguir construyendo nuevos tramos si su evaluación previa no indica que los beneficios sociales esperados son superiores a sus costes de construcción, que por ahora son evitables frente a los hundidos de la red

existente. Lo óptimo sería parar y esperar hasta que el crecimiento de la población y las ganancias potenciales por cambios en los costes generalizados hicieran rentable continuar expandiendo la red. Los resultados obtenidos demuestran que la opción de esperar es socialmente rentable.

# Inversión y tarificación de infraestructuras de transporte\*

Ginés de Rus<sup>a,b,c</sup>

M. Pilar Socorro<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

<sup>b</sup> FEDEA

<sup>c</sup> Universidad Carlos III de Madrid

29 diciembre, 2016

## RESUMEN

Tarificación e inversión en infraestructuras son elementos inseparables en la planificación pública. Las consecuencias de utilizar un determinado criterio de tarificación trasciende la mera utilización de la capacidad disponible a corto plazo, configurando el tipo de redes de transporte que, dado su carácter irreversible, prevalecerán en el futuro a pesar de que las mismas podrían ser subóptimas con respecto a otras alternativas que se hubiesen implantado con otra forma de tarificar. En este trabajo se analiza la decisión de inversión en proyectos excluyentes de transporte (avión, tren o avión más tren) considerando diferentes políticas de precios y de regulación. Como ilustración numérica se utiliza la inversión en infraestructura aeroportuaria o en alta velocidad ferroviaria en una línea hipotética de 600 kilómetros. Con esta ilustración obtenemos los umbrales de demanda que hacen óptimas las distintas alternativas, lo que nos permite obtener conclusiones prácticas de política pública.

**\*Agradecimientos:** Los autores agradecen a Ángel de la Fuente y a Gerard Llobet sus comentarios y sugerencias. La responsabilidad de posibles errores u omisiones es exclusivamente de los autores.

# 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo analizamos las consecuencias que tiene la fijación de precios sobre la planificación eficiente de la inversión en infraestructuras. El tipo de tarificación que se utilice determina el volumen de demanda de las infraestructuras públicas e influye, por tanto, en la configuración de las redes de transporte en el futuro. Introducir precios que solo cubren los costes variables, o alternatively precios que cubren tanto los costes variables como los costes fijos de construcción de la infraestructura, afecta a la cantidad demandada y por tanto a los beneficios sociales que se obtienen de la inversión en infraestructuras públicas. En otras palabras, no podemos responder a la pregunta de si una inversión en infraestructuras es socialmente rentable sin saber previamente qué precio se va a cobrar por su uso.

En lo que respecta al tipo de tarificación por el uso de las infraestructuras, en España se han utilizado criterios dispares según la modalidad de transporte. Los usuarios del transporte aéreo pagan los costes de los operadores de servicios (aerolíneas) y del operador de la infraestructura (Aena). En el transporte ferroviario de alta velocidad los usuarios han venido pagando poco más que el coste variable del viaje, incluso reduciendo precios a instancias del gobierno con el fin de incrementar la demanda de una modalidad con una capacidad potencial muy superior a la que se utiliza en España. Esta disparidad de criterios seguidos a la hora de tarificar el uso de las diferentes infraestructuras tiene consecuencias notables sobre la competencia entre modos, la distribución modal y los equilibrios a largo plazo en las redes de transporte.

Utilizando un juego dinámico de elección y resolviendo por inducción hacia atrás, en este documento demostraremos que, dependiendo del criterio que se siga a la hora de tarificar y del grado de irreversibilidad de la inversión, pueden alcanzarse equilibrios a largo plazo subóptimos que no hubieran tenido lugar si el criterio seguido para tarificar hubiese sido otro. Dada la irreversibilidad de la inversión y los costes hundidos de especialización en una nueva tecnología, las consecuencias de utilizar un determinado criterio de tarificación van más allá de la mera utilización de la capacidad disponible a corto plazo, haciendo posible que se configuren a largo plazo redes subóptimas e irreversibles en comparación con las que se obtendrían con otra forma de tarificar.

El contenido del trabajo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se discute la simultaneidad de la decisión de tarificación e inversión en contraposición a

lo que se ha venido haciendo en España, donde se han construido las infraestructuras de transporte con independencia de la rentabilidad social de las inversiones y posteriormente se ha decidido, cuando ya los costes eran hundidos, qué precios cobrar. La no separación de tarificación e inversión es aún más indiscutible cuando las infraestructuras son sustitutivas como ocurre con los aeropuertos y la red ferroviaria de alta velocidad ferroviaria, que en el caso de los viajes domésticos interurbanos de media distancia resuelven un mismo problema de movilidad.

En la sección 3 se modeliza la economía suponiendo un número de consumidores idénticos que tienen preferencias sobre viajar en avión y en tren, dos operadores de servicios de transporte aéreo y un operador de servicios ferroviarios privado. En este contexto, el gobierno fija los precios de las infraestructuras de transporte que podemos suponer de propiedad pública y alternativamente decide regular o no la fijación de precios del operador de ferrocarril. En este modelo consideramos dos tipos de tarificación de acceso a la infraestructura: tarificación de acuerdo al coste marginal a corto plazo y tarificación de acuerdo al coste marginal a largo plazo.

En la sección 4 consideramos que existen tres proyectos de inversión alternativos para resolver el mismo problema de movilidad de media distancia entre dos regiones: construir solo aeropuertos, construir solo la infraestructura ferroviaria, o construir ambas infraestructuras de transporte. Teniendo en cuenta estas alternativas, estimamos en qué umbrales de demanda una alternativa domina a las otras en términos de bienestar social, para lo cual necesitamos conocer previamente qué precio de acceso a la infraestructura se va a cobrar y si el operador de tren privado opera sin regular o en un mercado regulado. Finalmente, la sección analiza la elección del tipo de infraestructura para conectar dos regiones cuando ya existen otros tramos conectados con una o unas infraestructuras de transporte determinadas.

En la sección 5 analizamos las consecuencias de utilizar la tarificación de acuerdo al coste marginal a corto y largo plazo en la introducción de la alta velocidad bajo el supuesto de que la red aeroportuaria ya está operativa, caso real en la mayoría de las decisiones de inversión en esta tecnología.

Para ilustrar numéricamente los resultados del modelo, en la sección 6 se utilizan un conjunto de valores para los parámetros del modelo que tratan de aproximar la construcción y explotación de una línea similar a la de Madrid-Barcelona. El objetivo de

esta sección no es el de evaluar la línea Madrid-Barcelona sino el de ilustrar empíricamente cómo funciona el modelo teórico y cómo debe interpretarse el mismo utilizando valores aproximadamente reales; cómo distintas políticas de precios y regulación afectan a la elección de las alternativas de inversión, y cómo la información adicional que se obtiene sobre los umbrales de demanda que se necesitan para que un tipo de proyecto sea preferible a sus alternativas permite realizar comparaciones con las cifras reales del tráfico aeroportuario y de alta velocidad ferroviaria y la política de infraestructuras española. Finalmente, en la sección 7 se presentan las principales conclusiones del trabajo.

## 2. TARIFICACIÓN E INVERSIÓN: DOS DECISIONES INSEPARABLES

La decisión de qué precio cobrar por el uso de una infraestructura pública y la evaluación económica previa del valor social de sus construcción son inseparables si el gobierno está interesado en una planificación eficiente. La razón de la no separabilidad de tarificación e inversión es muy simple. Si no se fija el precio que se va a cobrar por el uso de la infraestructura no podemos predecir la demanda de dicha infraestructura ni la elección de capacidad en caso de que exista más de una opción, siendo por tanto imposible calcular el excedente social que se genera durante la vida del proyecto para comparar con los costes sociales en los que hay que incurrir.

En 1844 en un trabajo titulado “Sobre la utilidad de las obras públicas”, el ingeniero Jules Dupuit se preguntaba sobre el beneficio social de un puente por el que no se cobraba al cruzarlo y que por tanto no generaba ingresos que pudieran compararse con los costes. Si no se cobra por el uso del puente y suponiendo que solo hay costes fijos de construcción, el beneficio social del puente es todo el excedente del consumidor ya que el coste marginal de cruzarlo es nulo. Dejar libre acceso al puente es la política tarifaria óptima. Si dicho excedente (que es el máximo posible) fuera mayor que el coste de construcción, el puente debería construirse.

El argumento anterior es cierto bajo ciertos supuestos como, por ejemplo, la ausencia de congestión o la inexistencia de restricciones presupuestarias. Si existe restricción presupuestaria y el gobierno estuviese obligado a cubrir los costes, incluso



utilizando discriminación de precios (no perfecta en la práctica), la demanda será inferior y también el excedente del consumidor, siendo incluso posible que ahora no sea socialmente deseable construirlo como consecuencia del cambio de política de precios.

En una planificación eficiente de las infraestructuras, tarificación e inversión no pueden separarse y menos cuando las infraestructuras son sustitutivas o complementarias como ocurre con los aeropuertos y la red ferroviaria de alta velocidad ferroviaria. En España se han construido dos grupos de infraestructuras (además de la red de carreteras) que resuelven un mismo problema de movilidad para los viajes domésticos interurbanos de media distancia. La red de aeropuertos y la red de alta velocidad ferroviaria se superponen en un conjunto de orígenes-destinos en los que las líneas de infraestructura de alta velocidad ferroviaria se han construido siempre con posterioridad a la aeroportuaria. Los resultados, medidos en términos de desviación de tráfico, han sido muy positivos para la nueva modalidad de transporte. Los efectos sobre las cuotas de mercado tren-avión han sido muy favorables para el tren, que en algunas líneas ha captado la práctica totalidad del tráfico y en todas se ha convertido en la primera opción de los usuarios.

La popularidad de los trenes de alta velocidad por sus características de rapidez, seguridad, confort y precios asequibles, junto con sus resultados en términos de cuota de mercado ha sido la principal línea argumental en defensa de una inversión pública directa que ya excede los 50.000 millones de euros. También se ha considerado que el tren de alta velocidad supone una contribución significativa a la cohesión territorial a pesar de que las principales ciudades que conecta ya lo estaban con anterioridad gracias a la red viaria y a la aeroportuaria.

El problema es que es perfectamente posible que con ahorros marginales en el precio generalizado (precio del billete y tiempo invertido, fundamentalmente) del tren de alta velocidad con respecto al avión, se produzca el dominio del nuevo modo de transporte con ganancias de bienestar muy pequeñas. Esta es la intuición del trabajo del historiador y economista Robert Fogel, premio Nobel de Economía, en su estudio de los ferrocarriles americanos y su papel en el crecimiento económico (Fogel, 1962).

Fogel, apoyado en la evidencia de los ahorros marginales en costes que suponía el ferrocarril frente al transporte por canal, sostiene que la constatación de la victoria del ferrocarril sobre la alternativa existente de transporte no permite concluir que el

ferrocarril fuese un prerrequisito para el crecimiento del mercado interno que tuvo lugar. Lo único que puede inferirse de esta evidencia es que los ferrocarriles proveían el mismo servicio o un servicio similar a menor coste que su alternativa. Si el ferrocarril era un sustituto casi perfecto de los canales, bastaba con una reducción marginal en los costes para generar un cambio radical en la distribución modal, con el ferrocarril desplazando a los canales casi por completo, sin que esto implique un aumento de bienestar significativo.

El paralelismo con la introducción de la alta velocidad ferroviaria en España es claro, aunque aún más desfavorable para la justificación económica de la nueva alternativa de transporte. La evidencia disponible en diversos estudios realizados por investigadores independientes muestra que los ahorros marginales de la alta velocidad con respecto al avión provienen fundamentalmente de una reducción del componente monetario del precio generalizado, al ser los ahorros de tiempo demasiado pequeños para explicar el cambio modal. Los usuarios prefieren mayoritariamente el tren al avión porque el precio generalizado del primero (incluyendo tarifa y tiempo) es menor que el del segundo. Sin embargo, el precio del billete de tren sólo incluye el mantenimiento de la infraestructura y una pequeña contribución al coste fijo de su construcción. En este caso, el cambio de la distribución modal en beneficio del tren viene explicada porque los usuarios del tren no pagan (o sólo lo hacen en una pequeña parte) por la costosa infraestructura que utilizan.<sup>1</sup> Por tanto, el ferrocarril gana en este caso la batalla de la distribución modal sin que se garantice que se produzcan ganancias netas de bienestar social.

Los resultados de las evaluaciones realizadas son concluyentes: no existe una sola línea de alta velocidad en España cuya inversión genere ganancias de bienestar netas. Las inversiones realizadas en la construcción de infraestructuras de alta velocidad ferroviaria no soportan bien un análisis coste-beneficio convencional (de Rus e Inglada, 1993; Levinson et al., 1997; de Rus y Roman, 2005; de Rus and Nombela, 2007; de Rus and Nash, 2007; de Rus, 2011; Bel y Albalate, 2015; Betancor y Llobet, 2015).

---

<sup>1</sup> La deuda de AENA es de 9.400 millones de euros, 3,7 veces el Ebitda de la compañía. La deuda de ADIF es de 16.000 millones de euros, 60 veces su Ebitda, de los cuales 15.000 millones son imputables a la alta velocidad. Los aeropuertos españoles transportaron más de 200 millones de pasajeros en 2015, de los cuales el 70% eran internacionales y el 30% domésticos. Dividiendo los pasajeros domésticos por dos y sumándole los internacionales tenemos un total de 170 millones de pasajeros en transporte aéreo. Sin embargo, el AVE transportó unos veinte millones de pasajeros en el mismo periodo.

La evaluación más reciente del tren de alta velocidad en España (Betancor y Llobet, 2015) muestra como tanto la rentabilidad financiera como la económica son muy negativas. El VAN financiero de los cuatro corredores (Madrid-Andalucía, Madrid-Barcelona, Madrid-Levante y Madrid-Norte) es de -18.000 millones de euros. El VAN social se acerca a los -12.000 millones de euros.

El plan estratégico de infraestructuras del gobierno asume parte de este problema, aunque en la práctica se sigue expandiendo la red sin ajustarse a los criterios económicos más elementales de comparación de beneficios y costes sociales. En su diagnóstico de la situación actual se afirma lo siguiente (Ministerio de Fomento, 2013):

- España ya dispone de un importante patrimonio en infraestructuras de transporte. No obstante, en los últimos años la planificación se ha enfocado prioritariamente a continuar aumentando la oferta del sistema sin que exista una correlación directa con el crecimiento de la demanda.
- Tenemos situaciones de exceso de capacidad en determinadas áreas, que amenazan seriamente la sostenibilidad de la gestión de las infraestructuras y los servicios de transporte y condicionan de forma notable la estrategia futura, ya que generan unos costes de mantenimiento y de reposición a largo plazo difícilmente sostenibles.
- La planificación tampoco ha priorizado la necesidad de una verdadera complementariedad entre los distintos modos de transporte, en un contexto en el que las infraestructuras deben ser consideradas, en general, no tanto como un fin en sí mismas, sino como un instrumento para conseguir objetivos.

En este trabajo no se pretende volver a evaluar las pérdidas de bienestar social de la inversión en alta velocidad ferroviaria en España. La inversión en este tipo de infraestructura, además de su irreversibilidad y alto coste, tiene un elevado grado de sustituibilidad con el avión como demuestran las cifras de distribución modal. La rentabilidad económica de la alta velocidad (véase de Rus, 2011) es muy sensible al volumen de demanda correspondiente al tramo que se evalúa, a su capacidad de desviar tráfico de otros modos de transporte con externalidades significativas, al valor que tiene para sus potenciales usuarios recogido en la disposición a pagar, etc.

En este trabajo lo que se pretende es enfatizar la importancia de la política de tarificación en las decisiones de inversión. El problema de atender las necesidades de

movilidad interurbana de media distancia, con inversiones en aeropuertos, o alta velocidad, o ambas, ha de resolverse considerando simultáneamente la inversión en capacidad y en tecnología de transporte con el tipo de tarificación que se va a aplicar. Hay que analizar la posibilidad de que el error en la elección de una de las redes conduzca a un equilibrio subóptimo e irreversible en el largo plazo; es decir, que una vez iniciada la construcción de una de las redes sea óptimo seguir utilizando la red (o incluso construyendo nuevos tramos) aunque esta situación de equilibrio *ex post* sea socialmente inferior a la alternativa de no disponer de dicha red.

En transporte, al igual que en otros sectores de la economía, la función de los precios como señal para la asignación de los recursos es esencial para que el sistema económico funcione eficientemente. El nivel y la estructura de los precios generalizados (tarifas y tiempos de acceso, espera, desplazamiento, calidad y seguridad), sirven para que el usuario decida libremente a dónde quiere desplazar o enviar sus mercancías, en qué cantidades, cuándo y qué modalidad de transporte utilizará para tal fin.

La discusión sobre qué precios deben cobrarse por la utilización de las infraestructuras y servicios de transporte sigue siendo una de las más controvertidas de la literatura, estando aún lejos de resolverse. Aunque la “regla de oro” desde el punto de vista de la eficiencia económica es que los precios se igualen a los costes marginales sociales, estos pueden definirse a corto o a largo plazo. Además, existen restricciones presupuestarias y problemas de incentivos. Junto a esto, y al margen de qué criterio se siga, la tarificación óptima de una determinada infraestructura de transporte debe realizarse teniendo en cuenta la existencia de otros modos de transporte complementarios o sustitutivos (de Rus y Socorro, 2014).

Actualmente las decisiones de inversión y tarificación de las infraestructuras de transporte en España se llevan a cabo a través de direcciones generales independientes dentro del Ministerio de Fomento. Cada una de estas direcciones generales toma decisiones de inversión y tarificación de forma independiente de acuerdo a criterios diferentes y sin tener en cuenta el grado de sustituibilidad o complementariedad entre infraestructuras. Así, mientras que en modos de transporte como el tren de alta velocidad el criterio ha sido tarificar el uso de la infraestructura más o menos de acuerdo al coste marginal a corto plazo en ese modo, en otros modos como el transporte aéreo los precios por el uso de la infraestructura cubren tanto los costes marginales a corto plazo como el coste de la inversión aeroportuaria. En el caso español, en el que existe sobrecapacidad

en casi todas las infraestructuras de transporte, la decisión sobre qué precio cobrar por el uso de la infraestructura tiene consecuencias económicas de gran trascendencia en términos de distribución modal de los tráficos y optimalidad de la inversión.

La actual separación en direcciones generales por modos de transporte del Ministerio de Fomento obstaculiza la planificación y la gestión integradas. Así mismo, la disparidad de criterios entre una y otra dirección general a la hora de elegir la estructura de precios distorsiona la comparativa en cuanto a la optimalidad de la inversión en infraestructuras de transporte sustitutivas. De esta manera, cuando se aplican criterios de tarificación diferentes por razones ajenas a la racionalidad económica, aquellos modos de transporte que son tarificados de acuerdo al coste marginal a corto plazo se ven favorecidos por mayores volúmenes de demanda y, consecuentemente, mayores niveles de inversión, configurando un equilibrio subóptimo e irreversible en el largo plazo, caracterizado por una red de transporte de elevado coste que debe seguir utilizándose a pesar de su inadecuación para los volúmenes de demanda que soporta.

Una tarificación eficiente busca que el usuario tome sus decisiones de viaje de acuerdo con el coste de oportunidad social. Esto afecta al trayecto, al día y la hora, y a la modalidad de transporte, y previamente, al hecho de viajar o no. Suponiendo que los operadores de servicios de transporte cobran el coste marginal de prestación del servicio, la cuestión es cuánto debe cobrar el administrador de la infraestructura aeroportuaria o ferroviaria por el uso de la misma, lo que repercutirá en el precio generalizado de viajar (supongamos por simplicidad que no hay externalidades ni problemas de equidad).

La respuesta es, en principio, simple: el coste marginal social de utilizar la infraestructura. En el mundo real con la presencia de indivisibilidades, y costes fijos (y conjuntos) elevados y restricciones presupuestarias, la tarificación de acuerdo al coste marginal es una tarea compleja. Cobrar el coste marginal a corto plazo, además de las dificultades prácticas que conlleva, es incompatible con la recuperación de los costes fijos cuando hay exceso de capacidad, característica común a los aeropuertos españoles y muy especialmente a las líneas de alta velocidad cuya capacidad es muy superior a su utilización actual y, previsiblemente, futura.

Una alternativa es cobrar el coste marginal a largo plazo. El coste marginal a corto plazo es igual al cambio en el coste total cuando se aumenta la demanda, para una capacidad de la infraestructura constante. El coste marginal a largo plazo es el cambio en

el coste total cuando se aumenta la demanda, permitiendo un ajuste óptimo de la capacidad. Los costes marginales a corto y a largo plazo son iguales, suponiendo una predicción de la demanda perfecta y una perfecta divisibilidad de la infraestructura. Ambos supuestos no son realistas en el transporte y las consecuencias de elegir una de las dos opciones tiene importantes consecuencias en términos prácticos (véase Rothengatter, 2003; Nash, 2003).

Con una capacidad fija, cualquier usuario dispuesto a pagar el coste adicional de atenderlo debe tener acceso a la red. Cuando la capacidad es superior a la demanda, el coste marginal a corto plazo puede estar muy por debajo del coste medio. Aunque en teoría lo óptimo sea cobrar estrictamente el coste marginal a corto plazo y financiar los costes fijos con impuestos, hay razones para desviarse de este principio tarifario óptimo de primera preferencia (Laffont and Tirole, 1993): 1) el financiar los costes fijos con impuestos distorsionantes tiene un coste asociado por la pérdida de eficiencia del impuesto; 2) si se cubren los costes con subvenciones se reduce el esfuerzo de la empresa para minimizar costes; 3) problemas de equidad al pagar los que no usan la infraestructura los costes de quienes la usan y 4) el problema dinámico de expansión de capacidad en el largo plazo. Al tarifificar al coste marginal a corto plazo, habría que asegurarse que los usuarios están dispuestos a pagar los costes de inversión en capacidad.

En una encuesta realizada por la *European Conference of Ministers of Transport* (ECMT) sobre el tipo de tarificación de acceso a la infraestructura ferroviaria utilizada por los países europeos se observa que las principales políticas de precios de acceso en la práctica aproximan las anteriormente descritas; esto es, la tarificación de acuerdo al coste marginal a corto y a largo plazo, entendida esta última como cubrir los costes totales (EMCT, 2005)

### 3. EL MODELO

Siguiendo el modelo general de diferenciación de producto de Singh y Vives (1984), aplicado al mercado de servicios de transporte por De Rus y Socorro (2014), supongamos una economía compuesta, por un lado, por el sector transporte y, por el otro lado, por un sector competitivo que actúa como numerario y simboliza el resto de sectores de la economía. El sector transporte está compuesto por dos modos de transporte, el transporte aéreo y el transporte ferroviario. En ambos modos existen operadores privados que usan

infraestructuras de transporte públicas para proveer a los consumidores finales de servicios de transporte. Por simplicidad, supondremos que en el transporte ferroviario hay un único operador privado, en tanto que en el aéreo operan dos aerolíneas.

En la economía existen  $n$  regiones que conectar a través de  $n-1$  tramos, sin paradas intermedias. Así, el tramo 1 une las regiones 1 y 2, el tramo 2 une las regiones 2 y 3, y en general, el tramo  $i$  une las regiones  $i$  e  $i+1$ . Para cada uno de los posibles tramos el regulador debe decidir si construye o no una infraestructura ferroviaria, un aeropuerto (o dos aeropuertos en el caso de que el tramo anterior no posea ya un aeropuerto) o ambas infraestructuras de transporte.

Para cada tramo existen  $N$  consumidores idénticos con unas determinadas preferencias en cuanto a los servicios de transporte aéreo y ferroviario. Denotemos por  $q_1, q_2, q_t$  la cantidad de viajes ofertada por la aerolínea 1, la aerolínea 2, y el operador de transporte ferroviario, respectivamente. Por simplicidad, supondremos que la cantidad ofertada de viajes coincide con la cantidad demandada, es decir, que el factor de carga en los servicios de ambos modos de transporte es del 100%. Este nivel máximo de ocupación de los servicios ofertados por los operadores es compatible con una utilización baja de la capacidad de las infraestructuras.

Cada consumidor posee una función de utilidad respecto a los servicios de transporte,  $q_1, q_2, q_t$ , y resto de bienes de la economía (numerario),  $m$ , que es separable y lineal en el bien numerario:  $V(q_1, q_2, q_t, m) = U(q_1, q_2, q_t) + m$ . Dadas estas preferencias, no existen efectos renta en el sector transporte y podemos centrarnos en un análisis de equilibrio parcial.

Suponemos que la función de utilidad del consumidor representativo respecto a los servicios de transporte,  $U(q_1, q_2, q_t)$ , es una función cuadrática y estrictamente cóncava:

$$U(q_1, q_2, q_t) = u_a q_1 + u_a q_2 + u_t q_t - \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + q_t^2 + 2\gamma q_1 q_2 + 2\delta q_1 q_t + 2\delta q_2 q_t), \quad (1)$$

donde  $u_a$  y  $u_t$  son parámetros positivos que miden la preferencia del consumidor representativo por el modo de transporte,  $\gamma$  representa el grado de diferenciación entre aerolíneas, y  $\delta$  representa el grado de diferenciación entre los servicios de transporte

aéreo y los servicios ferroviarios. El consumidor representativo considera que, si bien las aerolíneas pueden ser sustitutivas entre sí, éstas ofertan servicios diferenciados.<sup>2</sup> Por tanto,  $\gamma \in [0,1)$ . Cuando el parámetro  $\gamma$  es cero, las aerolíneas son consideradas por el consumidor representativo como totalmente independientes. A medida que  $\gamma$  tiende a uno, las aerolíneas son consideradas mejores sustitutas.

Los consumidores consideran asimismo los servicios de transporte ferroviario y aéreo como posibles sustitutos. Por tanto,  $\delta \in [0,1)$ . Así, cuando el parámetro  $\delta$  es cero, los servicios de transporte ferroviario y aéreo son percibidos como bienes independientes, en tanto que a medida que  $\delta$  tiende a uno, los servicios de transporte ferroviario y aéreo son considerados mejores sustitutos. Supondremos que  $\gamma > \delta$ , es decir, los servicios de transporte que ofrecen las dos aerolíneas siempre son percibidos como mejores sustitutos entre sí que los servicios de transporte ferroviario.

El precio generalizado para los pasajeros se define como la suma del precio del billete,  $p_i$  con  $i = 1, 2, t$ , y el valor monetario del tiempo total utilizado y/o la desutilidad asociada a un determinado modo de transporte,  $t_a$  y  $t_t$  (que incluye el tiempo de acceso, el tiempo de egreso, el tiempo de espera y el tiempo en el interior del vehículo, la incomodidad del modo, etc.). Por tanto, el consumidor representativo resuelve el siguiente problema de maximización:

$$\underset{q_1, q_2, q_t}{Max} U(q_1, q_2, q_t) - (p_1 + t_a)q_1 - (p_2 + t_a)q_2 - (p_t + t_t)q_t, \quad (2)$$

donde  $t_a$  y  $t_t$  denotan todos los costes asociados a un determinado modo de transporte excepto el precio del billete.

El anterior problema de maximización puede reescribirse de la siguiente forma:

$$\underset{q_1, q_2, q_t}{Max} \alpha q_1 + \alpha q_2 + \beta q_t - \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + q_t^2 + 2\gamma q_1 q_2 + 2\delta q_1 q_t + 2\delta q_2 q_t) - p_1 q_1 - p_2 q_2 - p_t q_t, \quad (3)$$

---

<sup>2</sup> El consumidor puede considera que las aerolíneas ofertan productos diferenciados por varios motivos tales como, lealtad a la marca, la existencia de programas de fidelización, etc. (véase, por ejemplo, Chen y Chang, 2008).



donde  $\alpha = u_a - t_a$  y  $\beta = u_t - t_t$  representan la disposición máxima (neta de todo excepto el precio del billete) a pagar por viajar en un determinado modo de transporte.

Denotemos por  $\mu_a$  el precio de acceso cobrado a las aerolíneas por el uso de las infraestructuras aeroportuarias y por  $\mu_t$  el precio de acceso cobrado al operador de ferrocarril por el uso de la infraestructura ferroviaria. Denotemos por  $c_a$  y  $c_t$  el coste marginal constante de operación para aerolíneas y ferrocarril, respectivamente. Asimismo, denotemos por  $C_a$  y  $C_t$  el coste de mantenimiento y operación de la infraestructura aérea y ferroviaria, respectivamente.

Tal como se ha discutido en la sección 2, suponemos que existen dos alternativas de tarificación en cuanto a los precios de acceso a las infraestructuras de transporte públicas se refiere. Estas alternativas, no necesariamente óptimas, aproximan los dos criterios más comúnmente utilizados en la práctica. La primera opción consiste en tarificar de acuerdo al coste marginal a corto plazo de cada modo, es decir, que el precio de acceso sea igual al coste marginal de mantenimiento y operación de cada infraestructura de transporte:  $\mu_a = C_a$  y  $\mu_t = C_t$ , respectivamente. La segunda opción implica tarificar de tal manera que los operadores paguen un margen sobre los costes marginales a corto plazo de forma que, con una demanda suficientemente alta, puedan llegar a cubrirse los costes de construcción de la infraestructura (tarificación de acuerdo al coste marginal a largo plazo), es decir:  $\mu_a = C_a + A$  y  $\mu_t = C_t + T$ , donde  $A$  y  $T$  representan el margen sobre los costes marginales a corto plazo. Denotando por  $K_a$  y  $K_t$  el coste de la inversión en infraestructura aeroportuaria e infraestructura ferroviaria, respectivamente, y por  $r$  el coste de oportunidad del capital, cuando  $A = \frac{rK_a}{N(q_1 + q_2)}$  y

$T = \frac{rK_t}{Nq_t}$ , los usuarios de cada modo pagan la totalidad de los costes de esa infraestructura

de transporte, es decir, tanto los costes de operación y mantenimiento como los costes de construcción de la infraestructura. En general, supondremos que el coste de construcción de la infraestructura ferroviaria es mayor que el coste de construcción de la infraestructura aeroportuaria, es decir,  $K_a < K_t$ .

En los costes de construcción y operación de las infraestructuras y servicios de los dos modos de transporte no hemos incluido los costes medioambientales. No las

incluiremos ni como coste externo para el cálculo del beneficio social neto ni internalizado como un impuesto pigouviano dentro de los precios de acceso de la infraestructura o en el coste de los operadores de los servicios.

Esto no quiere decir que los impactos medioambientales no sean importantes. Por el contrario, ambos modos de transporte presentan externalidades negativas significativas, desde el suelo que ocupan, a la contaminación acústica, visual y atmosférica; y en el caso de la infraestructura ferroviaria, el efecto barrera que produce sobre el territorio. La razón para no incluir dichos costes externos en nuestro análisis es porque su internalización no afectaría de manera significativa a las decisiones intermodales y en todo caso empeoraría la alternativa ferroviaria de alta velocidad como se argumenta a continuación.

El argumento principal en favor de la alta velocidad es que desvía pasajeros del avión al tren y por tanto contribuye a la reducción del impacto medioambiental, ya que la contaminación que produce el tren es inferior que la que produce el transporte aéreo. El problema es que para que el saldo del cambio modal sea favorable en términos medioambientales se requiere alta ocupaciones de la infraestructura construida; es decir, que la desviación de tráfico sea sustancial, ya que hay que compensar los costes fijos medioambientales asociados a la construcción de la infraestructura ferroviaria. Digamos que hay que considerar el ciclo completo de vida de los proyectos para poder pronunciarse.

Los efectos externos negativos de la alta velocidad ferroviaria son de dos tipos. Uno es el mencionado más arriba consistente en la desviación de tráfico desde el modo más contaminante. El tren también contamina en el momento de la generación de la energía eléctrica pero contamina menos (con efecto sustitución alto) y el saldo puede ser positivo. El otro efecto externo es negativo y a veces olvidado por los defensores de la alternativa ferroviaria para el transporte de media distancia. Esta externalidad negativa consiste en la utilización de suelo en proporción muy superior a la que se necesita para construir dos aeropuertos y sus accesos (la red de carreteras ya existe para todo tipo de movilidad); en el efecto barrera sobre el territorio atravesando espacios de alto valor paisajístico y de recreo, además de zonas urbanas; en la contaminación acústica y visual y en el daño a la flora y fauna. Algunos de estos costes se mitigan con medidas paliativas como barreras para evitar el ruido o túneles para que los animales atraviesen la vía, etc., y están por tanto parcialmente internalizados en los costes de inversión.

El efecto medioambiental positivo del tren de alta velocidad parece entonces limitarse a la reducción neta de la contaminación atmosférica de los dos modos, aéreo y ferroviario, considerados en conjunto; sin embargo, la polución atmosférica, la producción de gases de efecto invernadero también se produce de manera masiva durante la construcción de la infraestructura ferroviaria de alta velocidad, necesitándose décadas de desviación de tráfico para compensarla (Kageson, 2009).

La contaminación durante la construcción se genera por la producción de los materiales de construcción y toda clase de los elementos de la estructura de las vías y de los equipos, su transporte, la utilización de camiones, grúas, bulldozers, tuneladoras, es tan elevada que se requieren unas condiciones exigentes para que durante su vida útil, en la que continúa contaminando al tener que reponerlos, consiga compensarlo mediante la reducción de emisiones en los modos a los que resta tráfico.

Una simulación sobre los efectos sobre la reducción de emisiones CO<sub>2</sub> gracias a la introducción de la alta velocidad pueden verse en Kageson (2009) para una línea de media distancia (500 km) y los siguientes supuestos: desviación de pasajeros del 20% del avión, 20% de la carretera, 5% del autobús y 30% del tren convencional., siendo el resto el tráfico generado. La inversión en alta velocidad supone una reducción neta de CO<sub>2</sub> de unas 90,000 toneladas anuales. Suponiendo una demanda de 10 millones de pasajeros anuales y un precio de 40 dólares la tonelada de CO<sub>2</sub>, el beneficio de la reducción es de 3.6 millones de dólares. Esta cifra es muy baja si se considera que la construcción de la infraestructura produce varios millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (Kageson, 2009).

Incluso en los estudios que han apoyado abiertamente la inversión en alta velocidad en el Reino Unido, se es muy cauto con respecto a los beneficios medioambientales de este modo de transporte: "...since a scheme requiring such substantial new infrastructure would inevitably have significant negative landscape, biodiversity and heritage impacts, with relatively small benefits to air quality and noise levels" (Atkins, 2004). Estas son las razones por las que no consideramos los efectos externos negativos en nuestro modelo.

Para cada posible tramo que conecta dos regiones, la secuencia es la siguiente. En primer lugar, el regulador decide el sistema de tarificación de acceso (tarificación de acuerdo al coste marginal a corto plazo o a largo plazo) para cada modo de transporte y de acuerdo a ese sistema de tarificación decide si invertir o no en la construcción de una

infraestructura aeroportuaria, ferroviaria o en ambas infraestructuras. En segundo lugar, dadas las infraestructuras construidas y el sistema de tarificación de acceso, el operador u operadores pagan el precio de acceso y deciden el precio del billete que cobrarán a los consumidores finales. Por último, dado el precio del billete y las infraestructuras construidas cada uno de los  $N$  consumidores que existe en la economía demanda un determinado número de viajes en los modos de transporte cuyas infraestructuras han sido construidas.

El juego se resuelve por inducción hacia atrás.

## 4. ELECCIÓN DEL TIPO DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE PARA CONECTAR DOS REGIONES

### 4.1. Alternativa 1: Sólo se construye la infraestructura aeroportuaria para conectar dos regiones

#### 4.1.1. Función de demanda del consumidor representativo si solo se construye la infraestructura aeroportuaria

En la última etapa del juego, dado el precio del billete y las infraestructuras construidas, cada uno de los  $N$  consumidores que existe en la economía demanda un determinado número de viajes en los modos de transporte cuyas infraestructuras han sido construidas. En el caso en el que el regulador decida construir solo la infraestructura aeroportuaria para conectar dos regiones cualesquiera, la función de utilidad respecto a los servicios de transporte del consumidor representativo para ese tramo vendrá dada por:

$$U(q_1, q_2) = u_a q_1 + u_a q_2 - \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + 2\gamma q_1 q_2), \quad (4)$$

donde  $u_a$  representa la preferencia del consumidor representativo por el transporte aéreo y  $\gamma$  el grado de diferenciación entre aerolíneas.

Por tanto, el consumidor representativo resolverá el siguiente problema de maximización:

$$\text{Max}_{q_1, q_2} \alpha q_1 + \alpha q_2 - \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + 2\gamma q_1 q_2) - p_1 q_1 - p_2 q_2, \quad (5)$$

donde  $\alpha = u_a - t_a$  representa la disposición máxima a pagar (neta de todo excepto el precio del billete) por viajar en avión.

El anterior problema de maximización da lugar a las siguientes funciones de demanda lineales:

$$\begin{aligned} q_1 &= a - bp_1 + dp_2, \\ q_2 &= a - bp_2 + dp_1, \end{aligned} \quad (6)$$

donde  $a = \frac{\alpha(1-\gamma)}{1-\gamma^2}$ ,  $b = \frac{1}{1-\gamma^2}$ ,  $d = \frac{\gamma}{1-\gamma^2}$ . El parámetro  $a$  representa la disposición máxima a pagar por viajar en una aerolínea determinada (que obviamente depende de la disposición máxima a pagar neta por viajar en avión,  $\alpha$ , y el grado de diferenciación de las aerolíneas,  $\gamma$ ), en tanto que los parámetros  $b$  y  $d$  representan cómo varía la cantidad demandada de una aerolínea por cambios en su propio precio y el precio del rival, respectivamente.

#### 4.1.2. Elección de las aerolíneas si sólo se construye la infraestructura aeroportuaria

Dados nuestros supuestos, en el mercado aéreo existen dos aerolíneas que compiten entre sí con productos diferenciados. Dados los precios de acceso a la infraestructura aeroportuaria y anticipando cuál va a ser la demanda del consumidor representativo, cada aerolínea resuelve el siguiente problema de maximización:

$$\text{Max}_{p_i} \pi_i = (p_i - c_a - \mu_a)q_i, \quad (7)$$

donde  $\pi_i$  representa el beneficio de la aerolínea  $i$  y  $q_i$  representa las funciones de demanda dadas en la expresión (6), con  $i = 1, 2$ .

Resolviendo el anterior problema de maximización obtenemos los siguientes precios óptimos del billete para cada aerolínea:

$$p_1 = p_2 = \frac{a + b\mu_a + bc_a}{2b - d}. \quad (8)$$

Nótese que, en este caso en el que solo se construye la infraestructura aeroportuaria, a medida que aumenta el precio de acceso a la misma, aumenta el precio del billete ofertado por las aerolíneas.

#### 4.1.3. Bienestar social si sólo se construye la infraestructura aeroportuaria

En el caso de que solo se construya la infraestructura aeroportuaria, el bienestar social es la suma del excedente de los  $N$  consumidores que existen en la economía, los beneficios de las aerolíneas al vender a esos  $N$  consumidores, y los beneficios generados por el uso de la infraestructura aeroportuaria, menos el coste de oportunidad de los fondos públicos destinados a construir hoy esa infraestructura.<sup>3</sup>

$$SW_a = N[U(q_1, q_2) - p_1q_1 - p_2q_2 + \pi_1 + \pi_2 + (\mu_a - C_a)(q_1 + q_2)] - rK_a, \quad (9)$$

el cual puede describirse de la siguiente forma:

$$SW_a = N[\alpha q_1 + \alpha q_2 - \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + 2\gamma q_1 q_2) - (C_a + c_a)(q_1 + q_2)] - rK_a, \quad (10)$$

o lo que es lo mismo:

$$SW_a = \frac{(3 - 2\gamma)(\alpha - C_a - c_a)^2}{(\gamma + 1)(\gamma - 2)^2} N - rK_a. \quad (11)$$

---

<sup>3</sup> La función de bienestar social de cada alternativa tiene una doble interpretación. Si la demanda y los costes anuales son constantes y el bienestar social es positivo significa que el beneficio social neto descontado durante la vida infinita del proyecto es positivo. Si la demanda no es constante y crece a lo largo de la vida del proyecto, un bienestar social positivo en nuestro modelo significa que es óptimo construir ya en lugar de posponer la inversión (véase el Anexo para una explicación más detallada).

## 4.2. Alternativa 2: Sólo se construye la infraestructura ferroviaria para conectar dos regiones

### 4.2.1. Función de demanda del consumidor representativo si solo se construye la infraestructura ferroviaria

En el caso en el que el regulador decida construir solo la infraestructura ferroviaria para conectar dos regiones cualesquiera, la función de utilidad de transporte del consumidor representativo para ese tramo vendrá dada por:

$$U(q_t) = u_t q_t - \frac{1}{2} q_t^2, \quad (12)$$

donde  $u_t$  representa la preferencia del consumidor representativo por el modo de transporte ferroviario.

Por tanto, el consumidor representativo resolverá el siguiente problema de maximización:

$$\text{Max } \beta q_t - \frac{1}{2} q_t^2 - p_t q_t, \quad (13)$$

donde  $\beta = u_t - t_t$  representa la disposición máxima a pagar (neta de todo excepto el precio del billete) por viajar en ferrocarril.

El anterior problema de maximización da lugar a la siguiente función de demanda lineal:

$$q_t = \beta - p_t. \quad (14)$$

Nótese que en este caso, dado que solo existe un operador de ferrocarril, la disposición máxima a pagar por viajar con este operador coincide con la disposición máxima a pagar por viajar en ferrocarril,  $\beta$ .

### 4.2.2. Elección del operador de ferrocarril si sólo se construye la infraestructura ferroviaria

El transporte ferroviario ha estado tradicionalmente operado en régimen de monopolio. Un solo operador público era el responsable, en una empresa verticalmente integrada, de la infraestructura y de los servicios que operaban sobre ella. La justificación económica de esta estructura de mercado descansaba en que el ferrocarril era considerado un monopolio natural, es decir, era más barato producir con una sola empresa que con dos o más. Por varias razones, entre las que se encuentra, la pérdida de competitividad de los ferrocarriles y la inyección continua de fondos públicos para sostener financieramente estas empresas, muchos países iniciaron una política consistente en la separación vertical de la industria (*vertical unbundling*), basándose en que el monopolio natural sólo afectaba a la infraestructura (es más barato tener una única red de vías) y no a los servicios ferroviarios que operan sobre ellas.<sup>4</sup>

En este trabajo consideramos que existe separación vertical, con un operador público de infraestructura y un operador de ferrocarril que consideraremos, alternativamente, que no está regulado y se permite al operador ejercer su poder de mercado libremente, o que está regulado y el regulador obliga al monopolista a fijar unas tarifas iguales a sus costes marginales de operación y acceso a la infraestructura. Este último caso podría asimilarse al de varios operadores que compiten fijando precios cercanos al coste marginal.<sup>5</sup>

#### *Sólo se construye la infraestructura ferroviaria y el monopolio no está regulado*

En este caso, dados los precios de acceso a la infraestructura ferroviaria y anticipando cuál va a ser la demanda del consumidor representativo, el monopolista resuelve el siguiente problema de maximización:

$$\underset{p_t}{Max} \pi_t = (p_t - c_t - \mu_t)q_t, \quad (15)$$

---

<sup>4</sup> No todos los países aplican la misma política de separación vertical. Algunos países, como ocurre en Latinoamérica, mantienen la integración de infraestructuras y servicios y concesionan áreas o zonas a distintas empresas. Para una descripción de los distintos sistemas en el mundo y un análisis de los pros y contras de la separación vertical véase Gómez-Ibañez y de Rus (2006).

<sup>5</sup> Hay que recordar que en este trabajo consideramos distintas políticas de tarificación utilizadas comunmente en el mundo real (no necesariamente óptimas), tanto de acceso como del precio del billete en caso de que el operador esté regulado, y el efecto que dichas políticas de precios tienen sobre las decisiones de inversión.



donde  $\pi_t$  representa el beneficio del operador de ferrocarril y  $q_t$  viene dada por la expresión (14).

Resolviendo el anterior problema de maximización obtenemos:

$$p_t = \frac{\beta + \mu_t + c_t}{2}. \quad (16)$$

Nótese que, dado que solo se construye la infraestructura ferroviaria, a medida que aumenta el precio de acceso a la infraestructura ferroviaria, aumenta el precio del billete ofertado por el operador privado.

*Sólo se construye la infraestructura ferroviaria y el monopolio está regulado*

Si el monopolio está regulado, el operador ferroviario no podrá ejercer libremente su poder de mercado y deberá fijar las tarifas determinadas por el regulador:

$$p_t^R = c_t + \mu_t. \quad (17)$$

#### 4.2.3. Bienestar social si sólo se construye la infraestructura ferroviaria

*Bienestar social si sólo se construye la infraestructura ferroviaria y el monopolio no está regulado*

En el caso de que sólo se construya la infraestructura ferroviaria, el bienestar social es la suma del excedente de los  $N$  consumidores que existen en la economía, los beneficios del operador de ferrocarril al vender a esos  $N$  consumidores, y los beneficios generados por el uso de la infraestructura ferroviaria, menos el coste de oportunidad de los fondos públicos destinados a construir hoy esa infraestructura:

$$SW_t = N[U(q_t) - p_t q_t + \pi_t + (\mu_t - C_t)q_t] - rK_t, \quad (18)$$

el cual puede reescribirse como:

$$SW_t = N[\beta q_t - \frac{1}{2} q_t^2 - (C_t + c_t)q_t] - rK_t, \quad (19)$$

Dado que los precios no están regulados, la expresión (19) quedaría de la siguiente forma:

$$SW_t = \frac{3}{8}(\beta - C_t - c_t)^2 N - rK_t. \quad (20)$$

*Bienestar social si solo se construye la infraestructura ferroviaria y el monopolio está regulado*

Si el monopolio está regulado el bienestar social representado en la expresión (19) vendría dado por:

$$SW_t^R = \frac{1}{2}(\beta - C_t - c_t)^2 N - rK_t. \quad (21)$$

Nótese que obviamente el bienestar social si solo se construye el ferrocarril y el monopolio está regulado es mayor que en el caso de que solo se construya el ferrocarril y se permita al monopolista ejercer libremente su poder de mercado:  $SW_t^R > SW_t$ .

### 4.3. Alternativa 3: Se construye tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria para conectar dos regiones

#### 4.3.1. *Función de demanda del consumidor representativo si se construye tanto la infraestructura aeroportuaria como la ferroviaria*

En el caso en el que el regulador decida construir tanto la infraestructura aeroportuaria como la infraestructura ferroviaria para conectar dos regiones cualesquiera, la función de utilidad de transporte del consumidor representativo para ese tramo vendrá dada por la expresión (1) y el problema de maximización a resolver por el mismo será el dado por la expresión (3). La función de utilidad del consumidor representativo da lugar a funciones de demanda lineales, cuyas expresiones vienen dadas por:

$$\begin{aligned}
q_1 &= a_a - b_a p_1 + d_a p_2 + d_t p_t, \\
q_2 &= a_a - b_a p_2 + d_a p_1 + d_t p_t, \\
q_t &= a_t - b_t p_t + d_t p_1 + d_t p_2,
\end{aligned} \tag{22}$$

donde:

$$\begin{aligned}
a_a &= \frac{(\alpha - \beta\delta)}{1 + \gamma - 2\delta^2}, \quad b_a = \frac{(1 - \delta^2)}{(1 - \gamma)(1 + \gamma - 2\delta^2)}, \quad d_a = \frac{(\gamma - \delta^2)}{(1 - \gamma)(1 + \gamma - 2\delta^2)} \\
a_t &= \frac{\beta(1 + \gamma) - 2\alpha\delta}{1 + \gamma - 2\delta^2}, \quad b_t = \frac{1 + \gamma}{1 + \gamma - 2\delta^2}, \quad d_t = \frac{\delta}{1 + \gamma - 2\delta^2}.
\end{aligned}$$

Suponemos que  $\alpha - \beta\delta > 0$ , y  $\beta(1 + \gamma) - 2\alpha\delta > 0$ . Nótese que, dados nuestros supuestos,  $a_a$ ,  $b_a$ ,  $d_a$ ,  $a_t$ ,  $b_t$ , y  $d_t$  son estrictamente positivos. El parámetro  $a_a$  representa la disposición máxima a pagar por viajar en una de las aerolíneas que, dado que existe otras aerolínea o incluso otro modo de transporte alternativo, depende de la disposición máxima a pagar neta por viajar en avión,  $\alpha$ , disposición máxima a pagar neta por viajar en tren,  $\beta$ , grado de diferenciación de las aerolíneas,  $\gamma$ , y grado de diferenciación entre avión y tren,  $\delta$ . Lo mismo ocurre con el parámetro  $a_t$  que representa la disposición máxima a pagar por viajar con el único operador de transporte ferroviario que hay en la economía, teniendo en cuenta que existen otras alternativas en otros modos de transporte.

Por su parte, el parámetro  $b_a$  representa cómo varía la cantidad demandada de la aerolínea al variar su propio precio, que depende del grado de diferenciación entre aerolíneas y entre aerolíneas y tren. Caso similar es el del parámetro  $b_t$  que mide cómo varía la cantidad demandada del operador de ferrocarril al variar su propio precio. Por otro lado, el parámetro  $d_a$  mide como varía la cantidad demandada de una aerolínea al variar el precio de la otra aerolínea, mientras que el parámetro  $d_t$  mide cómo varían las cantidades demandadas de servicios de transporte aéreo (ferroviario) al cambiar el precio de los operadores en el otro modo de transporte.

#### *4.3.2. Elección de las aerolíneas y del operador de ferrocarril si se construye tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria*

Al igual que para el caso en el que solo se construye la infraestructura ferroviaria, en este caso distinguiremos dos situaciones: una en la que al operador de ferrocarril compite libremente en productos diferenciados con las aerolíneas y otra en la que los precios de ferrocarril están regulados y los de las aerolíneas no.

#### *Elección de las aerolíneas y del operador de ferrocarril si se construye tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria y el ferrocarril no está regulado*

En el caso de que se construyan ambas infraestructuras de transporte y el ferrocarril no esté regulado, tanto aerolíneas como el operador de ferrocarril compiten en productos diferenciados. Por un lado, cada aerolínea  $i$  maximiza sus beneficios y, por tanto, resuelve el siguiente problema de maximización:

$$\underset{p_i}{Max} \pi_i = (p_i - c_a - \mu_a)q_i, \quad (23)$$

donde  $q_i$  viene dada por la expresión (22), con  $i = 1, 2$ .

Por otro lado, el operador de ferrocarril resuelve el siguiente programa de maximización:

$$\underset{p_i}{Max} \pi_i = (p_i - c_i - \mu_i)q_i, \quad (24)$$

donde  $q_i$  viene dado por la expresión (22).

Las condiciones de primer orden para la aerolínea 1, la aerolínea 2 y el operador de ferrocarril viene dadas por:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \pi_1}{\partial p_1} &= a_a + \mu_a b_a - 2p_1 b_a + p_2 d_a + b_a c_a + d_t p_t = 0, \\
\frac{\partial \pi_2}{\partial p_2} &= a_a + \mu_a b_a - 2p_2 b_a + p_1 d_a + b_a c_a + d_t p_t = 0, \\
\frac{\partial \pi_t}{\partial p_t} &= a_t + \mu_t b_t + p_1 d_t + p_2 d_t + b_t c_t - 2b_t p_t = 0.
\end{aligned} \tag{25}$$

Resolviendo las anteriores condiciones de primer orden, obtenemos los precios óptimos del billete para viajar en transporte aéreo y ferrocarril, que viene dados por:

$$\begin{aligned}
p_1 = p_2 &= \frac{1}{4b_a b_t - 2d_t^2 - 2d_a b_t} (2a_a b_t + a_t d_t + 2\mu_a b_a b_t + \mu_t b_t d_t + 2b_a c_a b_t + b_t c_t d_t) \\
p_t &= \frac{1}{4b_a b_t - 2d_t^2 - 2d_a b_t} (2b_a a_t + 2a_a d_t - d_a a_t + 2\mu_a b_a d_t + 2\mu_t b_a b_t - \mu_t d_a b_t \\
&\quad + 2b_a c_a d_t + 2b_a b_t c_t - d_a b_t c_t).
\end{aligned} \tag{26}$$

Nótese que a medida que aumenta el precio de acceso a la infraestructura aeroportuaria,  $\mu_a$ , el precio del billete para viajar en avión sube. Así mismo, a medida que sube el precio de acceso a la infraestructura ferroviaria,  $\mu_t$ , el precio del billete para viajar en tren aumenta. Del mismo modo, dado que tren y avión son sustitutivos para el consumidor representativo, a medida que aumenta el precio de acceso a la infraestructura aeroportuaria,  $\mu_a$ , el precio del billete para viajar en tren sube y a medida que se incrementa el precio de acceso a la infraestructura ferroviaria,  $\mu_t$ , el precio del billete para viajar en avión aumenta.

*Elección de las aerolíneas y del operador de ferrocarril si se construye tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria y el ferrocarril está regulado*

En el caso de que se construyan ambas infraestructuras de transporte y el ferrocarril esté regulado, las aerolíneas resuelven el problema de maximización dado por la expresión (23). Sin embargo, para el ferrocarril el precio del billete será  $p_t^R = c_t + \mu_t$ .

Resolviendo las condiciones de primer orden del problema de maximización de las aerolíneas y teniendo en cuenta que el precio del billete de tren está regulado, los precios óptimos vienen dados por:

$$p_1 = p_2 = \frac{1}{d_a - 2b_a}(a_a + \mu_a b_a + \mu_t d_t + b_a c_a + c_t d_t),$$

$$p_t^R = c_t + \mu_t. \quad (27)$$

### 4.3.3. Bienestar social si se construye tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria

*Bienestar social si se construye tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria y el ferrocarril no está regulado*

En el caso de que se construya tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria y el ferrocarril no esté regulado, el bienestar social es la suma del excedente de los  $N$  consumidores que existen en la economía, los beneficios de las aerolíneas y el operador de ferrocarril al vender a esos  $N$  consumidores, y los beneficios generados por el uso de ambas infraestructuras de transporte, menos el coste de oportunidad de los fondos públicos destinados a construir hoy esas infraestructuras:

$$SW_{t+a} = N[U(q_1, q_2, q_t) - (p_1 + t_a)q_1 - (p_2 + t_a)q_2 - (p_t + t_t)q_t + \pi_1 + \pi_2 + \pi_t + (\mu_a - C_a)(q_1 + q_2) + (\mu_t - C_t)q_t] - rK_a - rK_t, \quad (28)$$

el cual puede describirse como:

$$SW_{t+a} = N[\alpha q_1 + \alpha q_2 + \beta q_t - \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + q_t^2 + 2\gamma q_1 q_2 + 2\delta q_1 q_t + 2\delta q_2 q_t) - (C_a + c_a)(q_1 + q_2) - (C_t + c_t)q_t] - rK_a - rK_t, \quad (29)$$

donde  $q_1, q_2,$  y  $q_t$  vienen dadas por la expresión (22) con los precios dados por la expresión (26).

*Bienestar social si se construye tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria y el ferrocarril está regulado*

En este caso, el bienestar social vendrá dado por la expresión (29):

$$SW_{t+a}^R = N[\alpha q_1 + \alpha q_2 + \beta q_t - \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + q_t^2 + 2\gamma q_1 q_2 + 2\delta q_1 q_t + 2\delta q_2 q_t) - (C_a + c_a)(q_1 + q_2) - (C_t + c_t)q_t] - rK_a - rK_t,$$

donde  $q_1, q_2$ , y  $q_t$  vienen dadas por la expresión (22) con los precios dados por la expresión (27).

#### 4.4. Elección del tipo de infraestructura para conectar dos regiones: comparación de las diferentes alternativas

A la hora de elegir el tipo o tipos de infraestructuras que deben construirse para conectar dos regiones cualesquiera, el regulador deberá comparar el bienestar social de las diferentes alternativas:

**Alternativa 0:** No construir ninguna infraestructura y retrasar la inversión hasta que el número de consumidores en la economía,  $N$ , sea mayor.

**Alternativa 1:** Construir solo la infraestructura aeroportuaria. En este caso el bienestar social  $SW_a$  viene dado por la expresión (11):

$$SW_a = \frac{(3-2\gamma)(\alpha - C_a - c_a)^2}{(\gamma+1)(\gamma-2)^2} N - rK_a.$$

**Alternativa 2:** Construir solo la infraestructura ferroviaria. En este caso el bienestar social  $SW_t$  viene dado por la expresión (20) si el monopolio no está regulado o por la expresión (21) si el monopolio está regulado:

$$SW_t = \frac{3}{8}(\beta - C_t - c_t)^2 N - rK_t,$$

$$SW_t^R = \frac{1}{2}(\beta - C_t - c_t)^2 N - rK_t.$$

**Alternativa 3:** Construir tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria. En este caso el bienestar social  $SW_{t+a}$  viene dado por la expresión (29):

$$SW_{t+a} = N[\alpha q_1 + \alpha q_2 + \beta q_t - \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + q_t^2 + 2\gamma q_1 q_2 + 2\delta q_1 q_t + 2\delta q_2 q_t) - (C_a + c_a)(q_1 + q_2) - (C_t + c_t)q_t] - rK_a - rK_t,$$

con los precios dados en la expresión (26) si el ferrocarril no está regulado o con los precios dados en la expresión (27) si el ferrocarril está regulado.

Nótese que en todos los casos el bienestar social crece linealmente con el número de consumidores en la economía. Cuando  $N = 0$ , el bienestar social asociado a las alternativas 1, 2, y 3 equivale simplemente al coste de oportunidad de construir hoy las correspondientes infraestructuras de transporte en lugar de destinar esos fondos públicos a otras inversiones más rentables. A medida que el número de consumidores crece, el bienestar social crece. Sin embargo, la pendiente de la recta que define el bienestar en cada caso dependerá de las preferencias de los consumidores, de los costes de operación y mantenimiento de las infraestructuras, de los costes de operación de los operadores privados, del grado de regulación del ferrocarril y del tipo de tarificación de acceso que se aplique para cada modo de transporte. Así, por ejemplo, la pendiente del bienestar social asociado a la **Alternativa 1** (construir solo la infraestructura aeroportuaria),  $SW_a$ , aumenta al aumentar la disposición máxima a pagar neta por viajar en avión,  $\alpha$ , y/o disminuir los costes de operación y mantenimiento asociados al modo de transporte aéreo. Algo similar ocurre con la pendiente del bienestar social asociado a la **Alternativa 2** (construir solo la infraestructura ferroviaria),  $SW_t$ , que a su vez se hace más inclinada si el ferrocarril está regulado.

Distinguiremos dos tipos de tarificación: tarificación de acuerdo al coste marginal a corto plazo y tarificación de acuerdo al coste marginal a largo plazo, entendida aquí como un precio cercano al coste total medio (véase discusión en sección 2).

Si el regulador opta por tarificar el acceso a las infraestructuras de transporte de acuerdo al coste marginal a corto plazo, el precio de acceso será igual al coste marginal de mantenimiento y operación de la infraestructura de transporte. Es decir:

$$\begin{aligned}\mu_a^{C/P} &= C_a, \\ \mu_t^{C/P} &= C_t.\end{aligned}\tag{30}$$

Si el regulador opta por tarificar el acceso a las infraestructuras de transporte de acuerdo al coste marginal a largo plazo, el precio de acceso será igual al coste marginal de mantenimiento y operación de la infraestructura de transporte más un margen que permita, si la demanda es lo suficientemente alta, cubrir también los costes de construcción de la infraestructura:



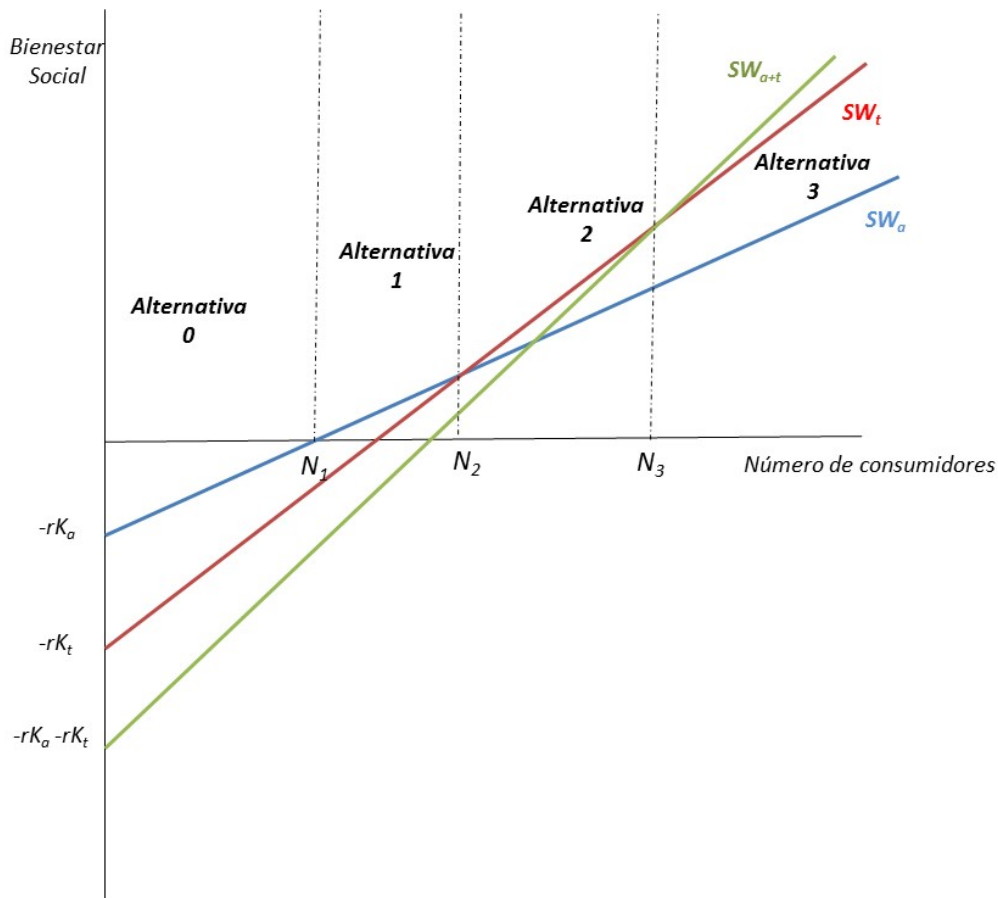
$$\begin{aligned}\mu_a^{L/P} &= C_a + A, \\ \mu_t^{L/P} &= C_t + T,\end{aligned}\tag{31}$$

donde  $A$  y  $T$  representan el margen sobre los costes marginales a corto plazo en el transporte aéreo y ferroviario, respectivamente.

Dependiendo del tipo de tarificación y regulación que escoja el gobierno y de las demás variables exógenas que definen la oferta y demanda del mercado de servicios de transporte para cada modo, podremos representar gráficamente el bienestar social asociado a cada una de las alternativas y escoger aquella que dado el número de consumidores que hay en el mercado maximiza el bienestar social de la economía.

La **Figura 1** muestra una situación en la que, dadas las pendientes de las funciones de bienestar social asociadas a cada alternativa, si el número de consumidores que hay en la economía es inferior a  $N_1$  la mejor opción para el regulador es la **alternativa 0**, es decir, no construir ninguna infraestructura y retrasar la inversión hasta que el número de consumidores en la economía,  $N$ , sea mayor. Sin embargo, si el número de consumidores que hay en la economía está entre los valores  $N_1$  y  $N_2$  la mejor decisión para el regulador es optar por la **alternativa 1**, es decir, construir solo la infraestructura aeroportuaria. En el caso de que el número de consumidores sea mayor, concretamente entre los valores  $N_2$  y  $N_3$ , la mejor elección es la **alternativa 2**, es decir, construir solo la infraestructura ferroviaria. Por último, si el número de consumidores de la economía es lo suficientemente alto, en concreto mayor que  $N_3$ , la mejor opción es la **alternativa 3**, es decir, construir tanto la infraestructura aeroportuaria como de ferrocarril. En este caso el modelo ilustra que para un número de  $N$  suficientemente grande es socialmente óptimo construir sólo el ferrocarril y sólo con una  $N$  mayor es óptimo construir ambas infraestructuras. El modelo trata los tres proyectos como mutuamente excluyentes y, por tanto, no incorpora el hecho real de la no factibilidad de la alternativa “solo tren” ya que los aeropuertos son necesarios para el tráfico internacional y/o han sido generalmente construidos con anterioridad cuando  $N$  era menor. Asimismo, el modelo considera fijo el número de aerolíneas y por tanto el número de productos diferentes. Sin embargo, a medida que  $N$  crece, nuevas aerolíneas podrían entrar en el mercado, reduciendo el atractivo de la alternativa “solo tren”, tanto por el aumento de la competencia entre aerolíneas como por el incremento de la variedad.

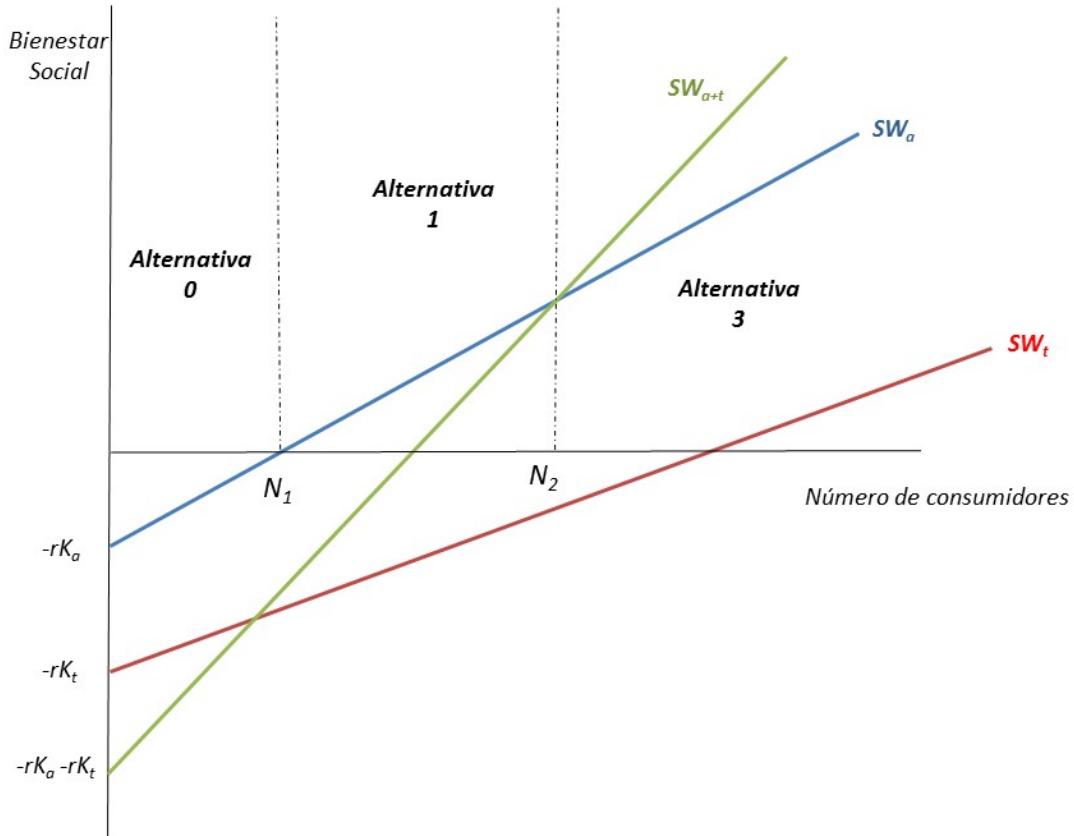
**Figura 1. Ejemplo 1 de comparación entre alternativas para la elección del tipo de infraestructura para conectar dos regiones**



Alternativamente, la **Figura 2** muestra una situación en la que, dadas las pendientes de las funciones de bienestar social asociadas a cada alternativa, si el número de consumidores que hay en la economía es inferior a  $N_1$  la mejor opción para el regulador es la **alternativa 0**, es decir, no construir ninguna infraestructura y retrasar la inversión hasta que el número de consumidores en la economía,  $N$ , sea mayor. Sin embargo, si el número de consumidores que hay en la economía está entre los valores  $N_1$  y  $N_2$ , la mejor decisión para el regulador es optar por la **alternativa 1**, es decir, construir solo la infraestructura aeroportuaria. En el caso de que el número de consumidores de la economía sea lo suficientemente alto, en concreto mayor que  $N_2$ , la elección óptima es la **alternativa 3**, es decir, construir tanto la infraestructura aeroportuaria como de

ferrocarril. En este ejemplo, la *alternativa 2*, es decir, construir solo la infraestructura ferroviaria, nunca es óptima.

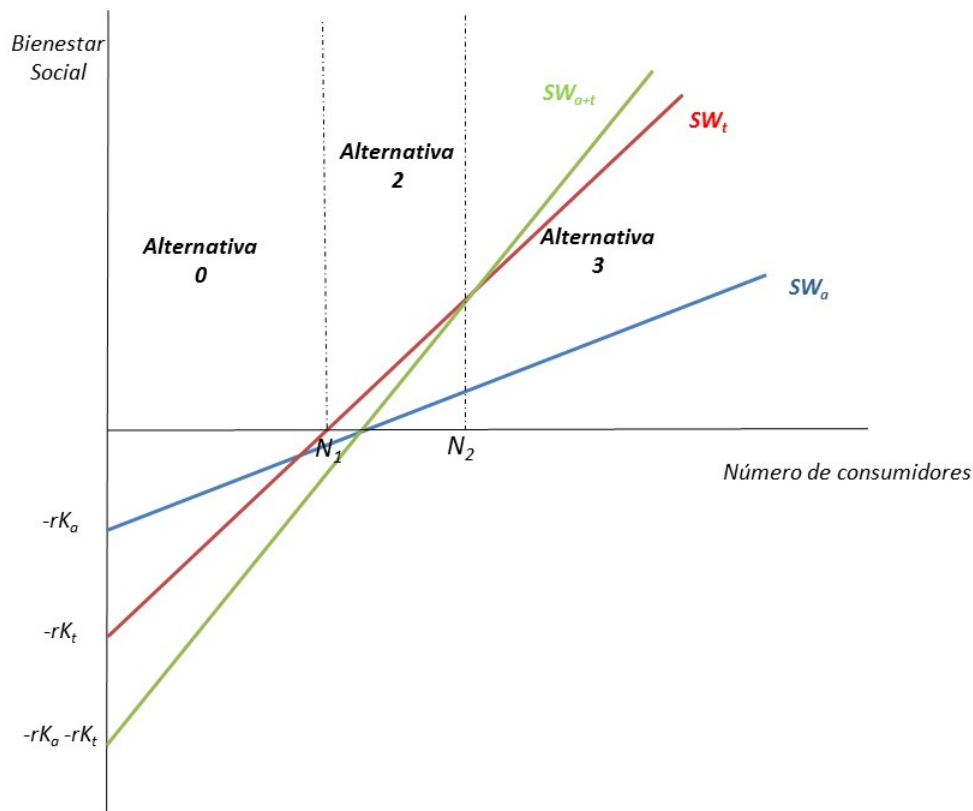
**Figura 2. Ejemplo 2 de comparación entre alternativas para la elección del tipo de infraestructura para conectar dos regiones**



La **Figura 3** muestra otro ejemplo en el que, dadas las pendientes de las funciones de bienestar social asociadas a cada alternativa, si el número de consumidores que hay en la economía es inferior a  $N_1$  de nuevo la mejor opción para el regulador es la *alternativa 0*, es decir, no construir ninguna infraestructura y retrasar la inversión hasta que el número de consumidores en la economía,  $N$ , sea mayor. Sin embargo, si el número de consumidores que hay en la economía está entre los valores  $N_1$  y  $N_2$ , la mejor decisión para el regulador es optar por la *alternativa 2*, es decir, construir solo la infraestructura ferroviaria. La intuición de este resultado es que el modelo trata como alternativos los distintos proyectos (sólo avión, sólo tren o avión+tren) y, dados los costes de los tres

proyectos y el tipo de preferencias de los consumidores, para un  $N$  mayor que  $N_1$ , se consigue el máximo beneficio social transportando a todos los individuos en tren. Si el número de consumidores supera a  $N_2$ , la elección óptima es la **alternativa 3**, es decir, construir tanto la infraestructura aeroportuaria como de ferrocarril. En este ejemplo, la **alternativa 1**, es decir, construir solo la infraestructura aeroportuaria, nunca es óptima.

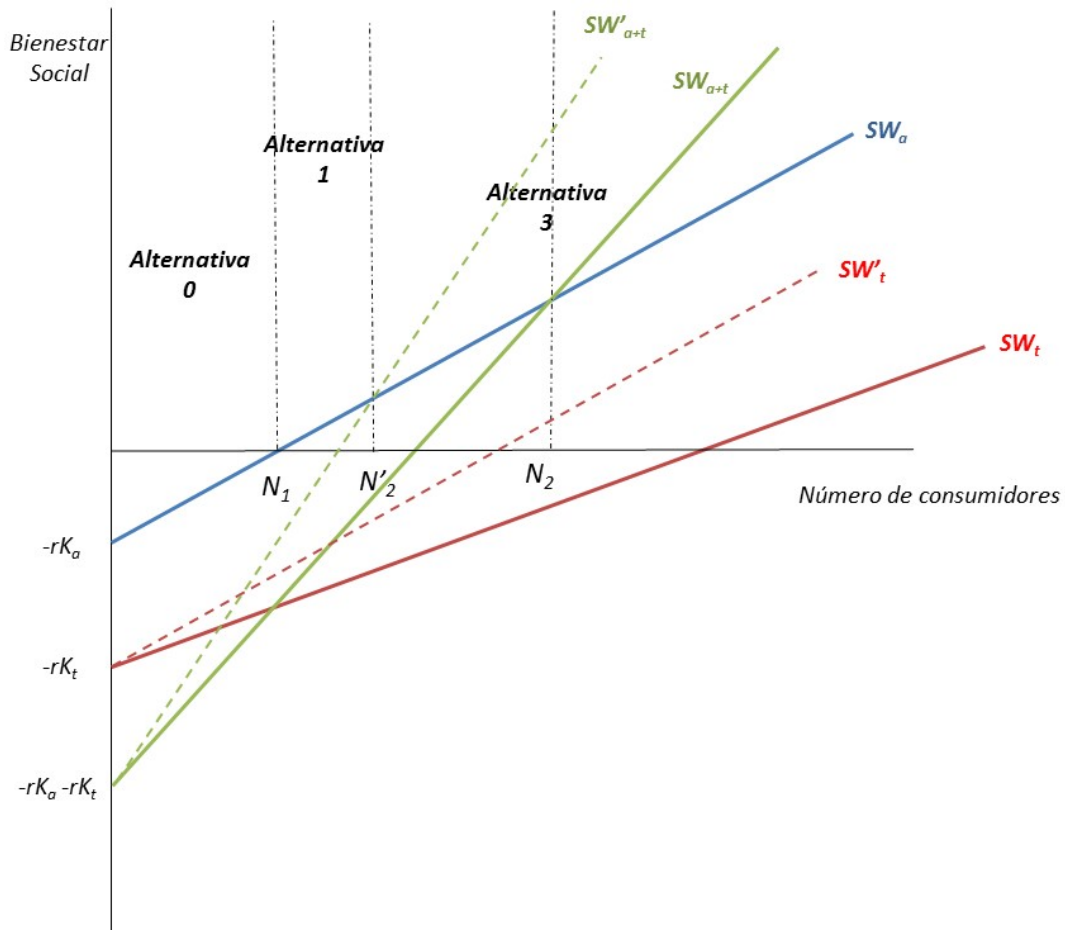
**Figura 3. Ejemplo 3 de comparación entre alternativas para la elección del tipo de infraestructura para conectar dos regiones**



Las preferencias de los consumidores, los costes de operación de las empresas que proveen servicios de transporte, los costes de construcción, mantenimiento y operación de las infraestructuras de transporte son variables que afectan al bienestar social de las distintas alternativas y sobre las que a priori el regulador no puede influir. Sin embargo, el grado de regulación del ferrocarril o el tipo de tarificación de acceso afectan igualmente al bienestar social de cada alternativa y, éstas sí son variables sobre las que el regulador puede influir directamente. Así, tal y como se muestra en la **Figura 4**, un mayor grado de regulación del ferrocarril y/o una tarificación de acceso de acuerdo al coste marginal a

corto plazo pueden afectar notablemente a la decisión óptima del tipo de infraestructura a construir para conectar dos regiones, incrementando la pendiente del bienestar asociado al ferrocarril y favoreciendo la elección de este tipo de infraestructura.

**Figura 4. Cambios en la tarificación de acceso y regulación del poder de mercado que favorecen la inversión en ferrocarril**



Tal y como se muestra en la **Figura 4**, un mayor grado de regulación del ferrocarril y una tarificación de acceso de acuerdo al coste marginal a corto plazo hace que las funciones de bienestar correspondientes a la alternativa de solo construir la infraestructura de ferrocarril (**alternativa 2**),  $SW'_t$ , y a la alternativa de construir tanto la infraestructura ferroviaria como aeroportuaria (**alternativa 3**),  $SW'_{a+t}$ , se vuelvan más inclinadas y el umbral mínimo de consumidores necesarios para construir ambas infraestructuras se reduzca de  $N_2$  a  $N'_2$ .

#### 4.5. Elección del tipo de infraestructura para conectar dos regiones cuando ya existen otros tramos conectados con una o unas infraestructuras de transporte determinadas

Dado que en el caso del transporte aéreo para conectar dos regiones es necesario tener dos aeropuertos, la construcción de un primer tramo con infraestructura aeroportuaria reduce la inversión necesaria para conectar el siguiente tramo utilizando como modo transporte el transporte aéreo, ya que en el segundo tramo solo sería necesario construir un aeropuerto y, por tanto, equivaldría a una reducción del coste de construcción de la infraestructura aeroportuaria que pasaría de  $K_a$  a  $K'_a = K_a / 2$ . En consecuencia, la inversión en un tramo en infraestructura aeroportuaria afecta a la rentabilidad social de los siguientes tramos, desplazando paralelamente y hacia arriba las funciones de bienestar social correspondientes a la *alternativa 1*,  $SW_a$ , y la *alternativa 3*,  $SW_{a+i}$ , y favoreciendo, por tanto, la creación de una red aeroportuaria.<sup>6</sup>

Esto, sin embargo, no ocurre con la infraestructura ferroviaria en la que el mayor coste de construcción radica en el coste de las vías y marginalmente en el coste de las estaciones. Por tanto, la construcción de un primer tramo de ferrocarril apenas disminuiría al coste de construcción del segundo tramo de ferrocarril. Por ello, en el caso del ferrocarril la irreversibilidad de la inversión hace que una vez construido un tramo, la infraestructura deba utilizarse pero no necesariamente que deba seguir invirtiéndose en nuevos tramos de infraestructura ferroviaria.

Por último, cabe resaltar que si bien el coste de inversión en infraestructura aeroportuaria puede variar dependiendo del número de consumidores que hay en la economía, reduciendo el tamaño del aeropuerto si este número resulta insuficiente, el coste de inversión en infraestructura ferroviaria apenas varía si reducimos el tamaño de las estaciones, ya que como hemos argumentado anteriormente el mayor coste de construcción radica en el coste de las vías. De ahí, que el grado de irreversibilidad de la infraestructura ferroviaria sea mucho mayor que la de la infraestructura aeroportuaria y

---

<sup>6</sup> Eso sin tener en cuenta que el transporte aéreo permite conectar regiones muy alejadas, en tanto que el tren deja de ser un modo de transporte competitivo para distancias superiores a 800 km. (véase, por ejemplo, Janic, 2003; de Rus and Nombela, 2007; Commission for Integrated Transport, 2004; Givoni and Banister, 2007; Vickerman, 2009).

la inversión de nuevos tramos de ferrocarril deba efectuarse solo en aquellos casos donde el bienestar social sea claramente mayor que el de las otras alternativas disponibles.

## 5. INVERSIÓN EN FERROCARRIL EN UN TRAMO EN EL QUE YA EXISTE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA

En esta sección planteamos una pequeña modificación al modelo planteado en las secciones 3 y 4 suponiendo un tramo en el que la infraestructura aeroportuaria ya existe y el regulador se plantea si construir o no en ese mismo tramo la infraestructura de ferrocarril. En este caso, el regulador deberá garantizar que el bienestar alcanzado si se construye la infraestructura ferroviaria cuando ya hay una infraestructura aeroportuaria es mayor que el bienestar social alcanzado cuando solo existe el modo de transporte aéreo.

Cuando la infraestructura aeroportuaria ya existe el problema se reduce a elegir entre dos alternativas:

**Alternativa 1:** Continuar solo con la infraestructura aeroportuaria. En este caso el bienestar social  $SW_a$  viene dado por la siguiente expresión:

$$SW_a^* = \frac{(3-2\gamma)(\alpha - C_a - c_a)^2}{(\gamma+1)(\gamma-2)^2} N. \quad (32)$$

Nótese que el bienestar social dado por la expresión (32) difiere del bienestar utilizado en la sección anterior - expresión (11) – en que en este caso no se resta el coste de oportunidad de la inversión en infraestructura aeroportuaria ( $rK_a$ ), puesto que la inversión en infraestructura ya se realizó en otro periodo temporal anterior.

**Alternativa 2:** Construir la infraestructura ferroviaria cuando la infraestructura aeroportuaria ya existe. En este caso el bienestar social  $SW_{t+a}$  viene dado por la expresión:

$$SW_{t+a}^* = N[\alpha q_1 + \alpha q_2 + \beta q_t - \frac{1}{2}(q_1^2 + q_2^2 + q_t^2 + 2\gamma q_1 q_2 + 2\delta q_1 q_t + 2\delta q_2 q_t) - (C_a + c_a)(q_1 + q_2) - (C_t + c_t)q_t] - rK_t, \quad (33)$$

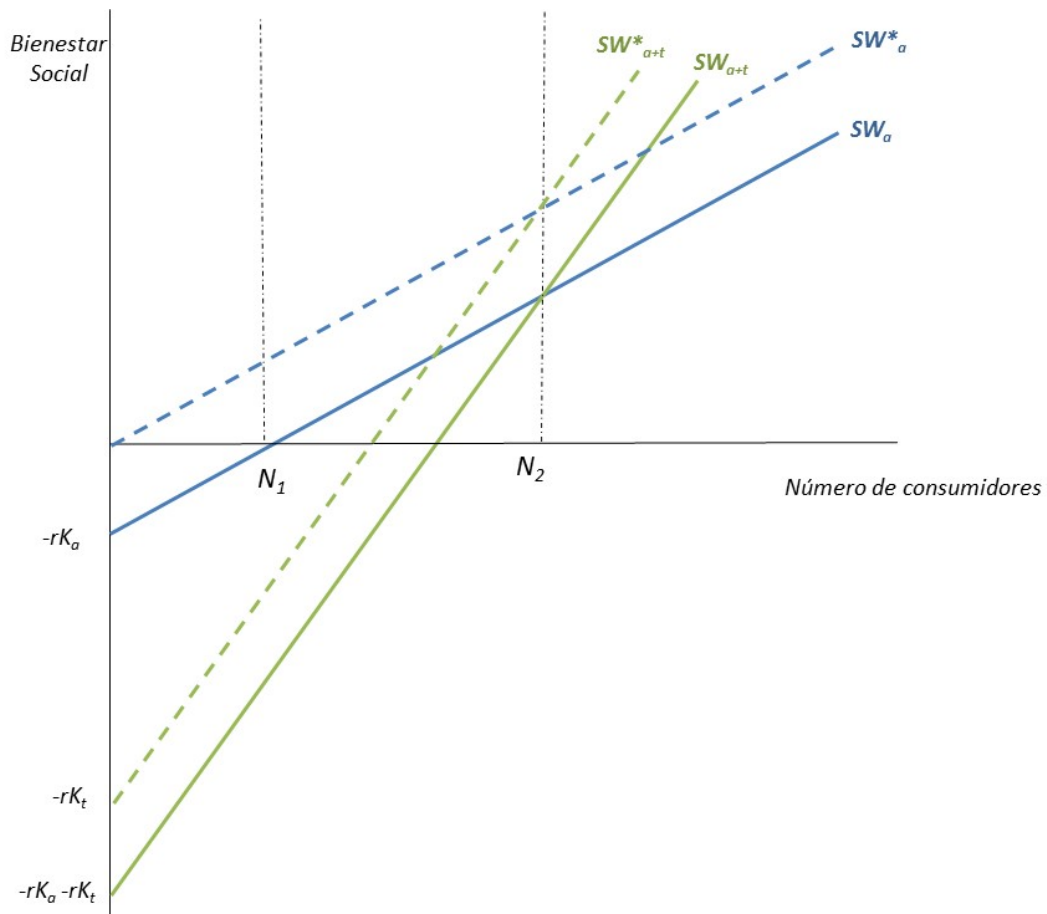
con los precios dados en la expresión (26) si el ferrocarril no está regulado o con los precios dados en la expresión (27) si el ferrocarril está regulado.

La **Figura 5** muestra cómo, a pesar de que la infraestructura aeroportuaria ya está construida y esto afecta al nivel de bienestar en valores absolutos de cada alternativa (seguir con los aeropuertos solamente o con ellos y añadir el ferrocarril) no afecta al umbral mínimo necesario de consumidores para construir el ferrocarril cuando ya existe la infraestructura aeroportuaria en comparación con el umbral mínimo necesario para construir ambas infraestructuras a la vez. En realidad se trata de restar los costes hundidos de la infraestructura ya existente ( $rK_a$ ) tanto en la alternativa “seguir sólo con los aeropuertos” como en la alternativa “añadir el ferrocarril a los aeropuertos existentes”.

Esta es la base de la aproximación incremental que se realiza en la mayoría de los estudios de evaluación económica de la construcción de líneas de alta velocidad. Como habitualmente en las líneas en las que se invierte en tren de alta velocidad ya existe el transporte aéreo, el análisis consiste en comparar los costes de inversión de la nueva infraestructura con las ganancias de bienestar que se obtienen de las desviaciones de tráfico desde el avión y la generación de nuevo tráfico, netas de los cambios en los costes operativos en ambos modos (véase de Rus, 2006). En los casos en los que ya existe tren convencional y avión y se considera la posibilidad de construir un tren de alta velocidad, la evaluación debe rehacerse considerando una nueva alternativa avión+tren en el que la disposición neta (de todo excepto el precio) a pagar por viajar en tren,  $\beta$ , es mayor (dados los mayores ahorros de tiempo), y se han incorporado los costes de construcción de la nueva infraestructura ferroviaria de alta velocidad. Esta alternativa debe compararse con la alternativa avión+tren convencional, que supone un valor de  $\beta$  menor pero ningún coste de construcción (ya que la infraestructura ferroviaria del tren convencional ya está construida).



**Figura 5. Umbral mínimo de consumidores necesarios para construir la infraestructura ferroviaria cuando ya existe la infraestructura aeroportuaria**



Como hemos discutido en la sección 2, el éxito de la nueva modalidad de transporte, argumentado con frecuencia con las cifras de desplazamiento voluntario de los viajeros del avión hacia el tren, puede fácilmente esconder unas ganancias de bienestar marginales o incluso negativas si la reducción en el precio generalizado que hace que los individuos cambien de modo de transporte se basa en unas tarifas subvencionadas que esconden ahorros de tiempo marginales con respecto al avión. Este puede ser el caso de las líneas de alta velocidad en países con poca demanda y en los que el punto de partida es un buen servicio de transporte aéreo y un ferrocarril de calidad media. A partir de esta situación es difícil que las modestas ganancias de bienestar medias multiplicadas por un número bajo de individuos en dicha sociedad compense elevados costes de una tecnología con fuertes indivisibilidades.

Para obtener un valor actual neto positivo de una inversión de este tipo, cuando existe una alternativa de transporte competitiva, se requiere un alto número de individuos dispuestos a pagar mucho por viajar en el nuevo modo de transporte, lo que es incompatible con bajas densidades de población, red viaria e infraestructuras aeroportuarias en buenas condiciones y distancias en las que el avión sólo es batido en tiempo de viaje cuando añadimos el tiempo de espera y de desplazamiento a/desde los aeropuertos. Incluso así, si se cobrase el coste marginal a largo, se necesitan volúmenes de tráfico mucho más altos que los que tenían los corredores de tráfico donde se construyeron (o se están construyendo) las líneas de alta velocidad en España como veremos con las cifras que se obtiene en la ilustración empírica de la sección siguiente.

## 6. ILUSTRACIÓN EMPÍRICA

Con el fin de ilustrar cómo el grado de regulación del ferrocarril y el tipo de tarificación de acceso escogidos por el regulador puede favorecer la construcción de uno de los tres proyectos alternativos que hemos definido en el modelo (sólo aeropuertos, sólo tren o ambas infraestructuras), así como los umbrales de demanda que se necesitan para que un tipo de proyecto sea preferible a sus alternativas veamos la siguiente ilustración empírica. Supongamos un tramo que une dos regiones separadas por una distancia de unos 600 km (por ejemplo, el tramo Madrid-Barcelona). Para unir estas dos regiones consideramos dos posibles modos de transporte: el transporte aéreo o el tren de alta velocidad.

El coste de construcción de la infraestructura ferroviaria de alta velocidad es, en general, muy elevado. Así, los 621 km de tren de alta velocidad que une las ciudades de Madrid y Barcelona se estima que costaron alrededor de 9 mil millones de euros (véase Sánchez-Borrás, 2010, de Rus, 2012, o más recientemente Betancor y LLobet, 2015). Teniendo en cuenta estas referencias que no incluyen el coste de las estaciones, en nuestro ejemplo, supondremos que la inversión necesaria para construir un tramo de ferrocarril en la actualidad es de diez mil millones de euros, es decir,  $K_f = 10.000.000.000$ .<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> El coste de un kilómetro de alta velocidad puede ser inferior cuando se atraviesan áreas rurales sin pendientes o muy superior cuando se atraviesa una orografía complicada o se atraviesan zonas urbanas muy pobladas. Así, el kilómetro de vía del tramo Madrid-Sevilla costó unos 6 millones de euros, en tanto que el Madrid-Valladolid costó 18,5 millones de euros, y el que une Fráncfort con Colonia 33 millones por kilómetro. En Italia el coste medio oscila entre 44 y 62 millones de euros.

Por otro lado, supondremos inicialmente que el coste de construcción de un aeropuerto medio es de mil millones de euros. Este es el caso, por ejemplo, del aeropuerto de Ciudad Real (inaugurado en 2008 y cerrado en 2011) que costó 1.1 mil millones de euros.<sup>8</sup> Sin embargo, dado que para operar se necesitan dos aeropuertos, consideraremos que el coste de inversión en la infraestructura aeroportuaria es de dos mil millones de euros, es decir,  $K_a = 2.000.000.000$ . El coste de oportunidad del capital suponemos que es del 5%, es decir,  $r = 0,05$ .

En cuanto a los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura aeroportuaria, según datos del *Informe Anual y de RC 2015* de AENA, el número total de pasajeros de toda la red de aeropuertos de AENA durante el año 2015 fue de 207.414.141 pasajeros (AENA, 2016). Según este mismo informe, los gastos totales de explotación y mantenimiento (incluyendo los gastos de aprovisionamientos, personal, y otros gastos de explotación) fueron de 1.093.717.000 euros, que dividido por el número total de pasajeros supone unos 5,27 euros por pasajero. Dado que para operar un tramo se necesitan dos aeropuertos, en nuestro ejemplo supondremos que el coste marginal de operación y mantenimiento de la infraestructura aeroportuaria es de 10 euros, es decir,  $C_a = 10$ .

En lo que se refiere a los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria de alta velocidad, tomamos como referencia un reciente informe de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC, 2016). Según datos de este informe, los gastos de explotación y mantenimiento de ADIF Alta Velocidad en el año 2015 ascienden a 729.755.000 euros (incluyendo gastos de personal y otros gastos de explotación). Estos gastos incluyen los gastos derivados de la comercialización de energía de tracción, cuyos ingresos en 2015 ascendieron a 298.344.000 euros. Suponiendo que los ingresos de comercialización de energía de tracción están marginalmente por encima de los gastos derivados de la misma, estimamos que los gastos de explotación y mantenimiento están en torno a los 432.000.000 euros. Teniendo en cuenta que la cifra total de pasajeros de alta velocidad en España está en torno a los 19,4 millones de pasajeros en 2015, los costes de mantenimiento y operación de la infraestructura

---

[http://www.ferropedia.es/wiki/Costos\\_de\\_construcci%C3%B3n\\_de\\_infraestructura](http://www.ferropedia.es/wiki/Costos_de_construcci%C3%B3n_de_infraestructura)

<sup>8</sup> Véase [http://business.financialpost.com/2013/12/11/spain-ghost-airport-ciudad-real/?\\_lsa=3d1d-6f5e](http://business.financialpost.com/2013/12/11/spain-ghost-airport-ciudad-real/?_lsa=3d1d-6f5e). No obstante, el coste de un aeropuerto puede ser sensiblemente inferior. Las estimaciones del coste de inversión del aeropuerto de Huelva no superaban los 100 millones de euros para una capacidad de un millón de pasajeros (véase [http://elpais.com/diario/2005/11/03/andalucia/1130973740\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2005/11/03/andalucia/1130973740_850215.html))

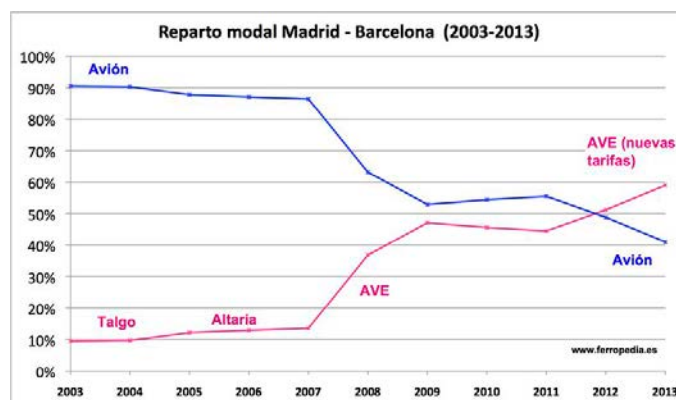
ferroviaria de alta velocidad en España están en torno a los 22 euros por pasajero. Siguiendo estas estimaciones, en nuestro ejemplo, supondremos que el coste marginal de operación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria es  $C_i = 20$ .

Suponiendo que el precio del billete cubre los costes marginales de los operadores de transporte y observando a través de la web los precios del billete en la ruta Madrid-Barcelona, podemos observar que el precio del billete en la tarifa más económica está por encima de 60 euros en aerolíneas tradicionales y por encima de 55 euros en el tren de alta velocidad con trayecto de menor duración.<sup>9</sup> Por tanto, en nuestro ejemplo, supondremos que el coste marginal de operación para aerolíneas y tren es  $c_a = 40$  euros y  $c_t = 30$  euros, respectivamente.

En lo que se refiere a los consumidores y sus preferencias por el transporte aéreo, supondremos que consideran que las aerolíneas son altamente sustituibles entre sí, por lo que  $\gamma = 0,8$ , y que la disposición máxima a pagar (neta de todo excepto el precio) por viajar en avión es  $\alpha = 160$ .

En lo que se refiere a las preferencias por el transporte ferroviario, la evidencia empírica muestra un alto grado de sustituibilidad entre el modo de transporte aéreo y el tren de alta velocidad. La **Figura 6** muestra el reparto modal en la ruta Madrid-Barcelona, en la que la introducción del tren de alta velocidad ha producido una drástica caída de la cuota de mercado del transporte aéreo.

**Figura 6. Reparto modal en la ruta Madrid-Barcelona**



Fuente: Ferropedia

<sup>9</sup> Precios cogidos a través de la web para la compra de un trayecto en la ruta Madrid-Barcelona con un mes de antelación.

A la vista de las cifras de la **Figura 6**, el grado de sustitución entre avión y tren parece que en la práctica se aproxima a la unidad. Sin embargo, en esta ilustración empírica utilizaremos un supuesto bastante favorable a la elección de la infraestructura ferroviaria, considerando que  $\delta = 0,7$ . Asimismo, supondremos que la disposición máxima a pagar (neta de todo excepto del precio) por viajar en tren es ligeramente superior a la del avión,  $\beta = 180$ . Es decir, suponemos que los individuos están dispuestos a pagar 40 euros más por un viaje de ida y vuelta en tren con respecto a lo que están dispuestos a pagar por viajar en avión,  $\beta - \alpha = 20$ , de nuevo un supuesto bastante favorable a la elección de la infraestructura ferroviaria que, incluso así y como veremos a continuación, requerirá de elevadísimos volúmenes de demanda para ser óptima.

## 6.1. Elección de la infraestructura con tarificación de acuerdo al coste marginal a corto plazo en ambas infraestructuras y ferrocarril no regulado

La **Tabla 1** recoge las cantidades y precios óptimos para cada alternativa, la función de bienestar social y el umbral mínimo de consumidores (y número mínimo de viajes) necesarios para que esa alternativa sea la óptima si el regulador tarifica ambas infraestructuras de acuerdo al coste marginal a corto plazo y el ferrocarril no está regulado. De acuerdo a los datos contenidos en la **Tabla 1**, si el número de consumidores es muy bajo,  $N \leq 15.301$ , entonces la mejor alternativa es la **alternativa 4**, es decir, no construir ninguna infraestructura y retrasar la inversión hasta que el número de consumidores en la economía  $N$  sea mayor. Si el número de consumidores es suficientemente alto,  $15301 \leq N \leq 258.730$ , la mejor alternativa es la **alternativa 1**, es decir, construir solo la infraestructura aeroportuaria. Si el número de consumidores es muy alto,  $N \geq 258.730$ , la mejor alternativa es la **alternativa 3**: se construye tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria. La **alternativa 2**, es decir, construir solo la infraestructura ferroviaria nunca es óptima.

**Tabla 1. Comparación de alternativas si el regulador tarifica ambas infraestructuras de acuerdo al coste marginal a corto plazo y el ferrocarril no está regulado**

|   | <b>Alternativa 1:<br/>solo avión</b> | <b>Alternativa 2:<br/>solo tren</b> | <b>Alternativa 3:<br/>avión y tren</b>             |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>Precio de acceso</b>                 | $\mu_a = 10$                         | $\mu_t = 20$                        | $\mu_a = 10$<br>$\mu_t = 20$                       |
| <b>Precio del billete</b>               | $p_1 = p_2 = 68,33$                  | $p_t = 115$                         | $p_1 = p_2 = 60,54$<br>$p_t = 76,32$               |
| <b>Número de viajes por consumidor</b>  | $q_1 + q_2 = 102$                    | $q_t = 65$                          | $q_1 + q_2 = 66$<br>$q_t = 58$                     |
| <b>Bienestar social</b>                 | $SW_a = 6535,5N - 100.000.000$       | $SW_t = 6337,5N - 500.000.000$      | $SW_{t+a} = 8468N - 600.000.000$                   |
| <b>Umbral mínimo de consumidores</b>    | $N = 15.301$                         | -                                   | $N = 258.730$                                      |
| <b>Número mínimo de viajes en total</b> | $N(q_1 + q_2) = 1.558.407$           | -                                   | $N(q_1 + q_2) = 16.964.926$<br>$Nq_t = 14.949.419$ |

## 6.2. Elección de la infraestructura con tarificación de acuerdo al coste marginal a corto plazo en ambas infraestructuras y ferrocarril regulado

La tarificación a corto plazo y regulación del poder de mercado del ferrocarril aumenta la pendiente del bienestar social asociado a la **alternativa 2** y **alternativa 3**, favoreciendo la elección de la infraestructura ferroviaria. En comparación con los datos de la **Tabla 1**, la **alternativa 2** es óptima para un número de consumidores suficientemente alto, en particular,  $208.930 \leq N \leq 246.730$  y el umbral mínimo para construir tanto la infraestructura aeroportuaria como ferroviaria ha disminuido con respecto al caso en el que no se regula el ferrocarril, pasando de 258.730 a 246.730, pero es acompañado de un importante trasvase de viajes del transporte aéreo al transporte ferroviario (véase **Tabla 2**).

**Tabla 2. Comparación de alternativas si el regulador tarifica ambas infraestructuras de acuerdo al coste marginal a corto plazo y el ferrocarril está regulado**

|   | <b>Alternativa 1:<br/>solo avión</b> | <b>Alternativa 2:<br/>solo tren</b> | <b>Alternativa 3:<br/>avión y tren</b>            |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|---|
| <b>Precio de acceso</b>                 | $\mu_a = 10$                         | $\mu_t = 20$                        | $\mu_a = 10$<br>$\mu_t = 20$                      |
| <b>Precio del billete</b>               | $p_1 = p_2 = 68,33$                  | $p_t = 50$                          | $p_1 = p_2 = 55,35$<br>$p_t = 50$                 |
| <b>Número de viajes por consumidor</b>  | $q_1 + q_2 = 102$                    | $q_t = 130$                         | $q_1 + q_2 = 33$<br>$q_t = 107$                   |
| <b>Bienestar social</b>                 | $SW_a = 6535,5N - 100.000.000$       | $SW_t = 8450N - 500.000.000$        | $SW_{t+a} = 8855N - 600.000.000$                  |
| <b>Umbral mínimo de consumidores</b>    | $N = 15.301$                         | $N = 208.930$                       | $N = 246.730$                                     |
| <b>Número mínimo de viajes en total</b> | $N(q_1 + q_2) = 1.558.407$           | $Nq_t = 27.160.900$                 | $N(q_1 + q_2) = 8.211.174$<br>$Nq_t = 26.326.091$ |

Nótese que la alternativa construir ambas infraestructuras es la socialmente óptima con una población algo superior y son menos viajes en tren que en la alternativa sólo tren. Teniendo en cuenta que en una economía media ya se habrían construido los aeropuertos (que satisfacen diferentes tipos de movilidad: domestico, internacional y carga), la alternativa teórica “sólo tren” es irrelevante desde un punto de vista práctico. Es también interesante señalar como la regulación y tarificación escogidos por el regulador ha favorecido notablemente la elección de una infraestructura cuya construcción podría no ser óptima bajo otras políticas de regulación y/o tarificación, llevando a tomar decisiones de inversión irreversibles y configurando una red de transportes subóptima.

### 6.3. Elección de la infraestructura con tarificación de acuerdo al coste marginal a largo plazo en ambas infraestructuras y no regulación en el ferrocarril

Si el regulador tarifica de acuerdo al coste marginal a largo plazo, el precio de acceso a cada infraestructura cubre los costes marginales de operación y mantenimiento de la misma y una parte del coste de la inversión, es decir,  $\mu_a^{L/P} = C_a + A$ , y  $\mu_t^{L/P} = C_t + T$ . En

este ejemplo, supondremos que el margen sobre los costes marginales a corto plazo es de 2 euros en el caso del transporte aéreo y de 30 euros en el caso del transporte ferroviario, es decir:  $A = 2$  y  $T = 30$ .

La **Tabla 3** recoge las cantidades y precios óptimos para cada alternativa, la función de bienestar social y el umbral mínimo de consumidores (y número mínimo de viajes necesarios) para que esa alternativa sea la óptima si el regulador tarifica ambas infraestructuras de acuerdo al coste marginal a largo plazo y el ferrocarril no está regulado.

**Tabla 3. Comparación de alternativas si el regulador tarifica ambas infraestructuras de acuerdo al coste marginal a largo plazo y el ferrocarril no está regulado**

|   | <b>Alternativa 1:<br/>solo avión</b> | <b>Alternativa 2:<br/>solo tren</b> | <b>Alternativa 3:<br/>avión y tren</b>             |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>Precio de acceso</b>                 | $\mu_a = 12$                         | $\mu_t = 50$                        | $\mu_a = 12$<br>$\mu_t = 50$                       |
| <b>Precio del billete</b>               | $p_1 = p_2 = 70$                     | $p_t = 130$                         | $p_1 = p_2 = 65,30$<br>$p_t = 93,17$               |
| <b>Número de viajes por consumidor</b>  | $q_1 + q_2 = 100$                    | $q_t = 50$                          | $q_1 + q_2 = 83$<br>$q_t = 29$                     |
| <b>Bienestar social</b>                 | $SW_a = 6500N - 100.000.000$         | $SW_t = 5250N - 500.000.000$        | $SW_{t+a} = 7686,8N - 600.000.000$                 |
| <b>Umbral mínimo de consumidores</b>    | $N = 15.385$                         | -                                   | $N = 421.300$                                      |
| <b>Número mínimo de viajes en total</b> | $N(q_1 + q_2) = 1.538.500$           | -                                   | $N(q_1 + q_2) = 34.854.149$<br>$Nq_t = 12.182.311$ |

A través de los datos de la **Tabla 3** podemos concluir que si el número de consumidores que hay en la economía es muy pequeño,  $N \leq 15.385$ , la mejor opción para el regulador es la **alternativa 1**, es decir, no construir ninguna infraestructura y retrasar la inversión hasta que el número de consumidores en la economía,  $N$ , sea mayor. Sin embargo, si el número de consumidores que hay en la economía está entre 15.385 y 421.300 consumidores,  $15.385 \leq N \leq 421.300$ , la mejor decisión para el regulador es optar por la **alternativa 1**, es decir, construir solo la infraestructura aeroportuaria. En el caso de que el número de consumidores de la economía sea lo suficientemente alto,  $N \geq 421.300$  consumidores, la elección óptima es la **alternativa 3**, es decir, construir tanto la infraestructura aeroportuaria como de ferrocarril. En este ejemplo, la **alternativa**



2, es decir, construir solo la infraestructura ferroviaria, nunca es óptima. Este ejemplo numérico coincide con la situación representada en la **Figura 2**.

Comparando los datos de la **Tabla 1** y la **Tabla 3** observamos que, si bien el umbral mínimo de consumidores necesario para que la *alternativa 1* (es decir, construir solo la infraestructura aeroportuaria) sea la óptima ha aumentado ligeramente pasando de un mínimo de consumidores de 15.301 a 15.385, el umbral mínimo necesario para construir ambas infraestructuras (*alternativa 3*) aumenta considerablemente, pasando de 258.730 a 421.300 consumidores. Estos 421.300 consumidores deben realizar un mínimo de 34.854.149 viajes en avión (cubriendo todos los costes marginales de operación y mantenimiento de la infraestructura y unos 70 millones de los 100 millones de euros que supone el coste de oportunidad de la inversión en infraestructura aeroportuaria) y 12.182.311 viajes en tren (cubriendo todos los costes marginales de operación y mantenimiento de la infraestructura y unos 365 millones de los 500 millones de euros que supone el coste de oportunidad de la inversión en infraestructura ferroviaria) para que construir ambas infraestructuras sea óptimo.

Cuando del regulador tarifica ambas infraestructuras de acuerdo al coste marginal a corto plazo, la pendiente del bienestar asociado a todas las alternativas aumenta en comparación con el caso en la que el regulador tarifica de acuerdo al coste marginal a largo plazo. Sin embargo, la pendiente del bienestar asociado a la *alternativa 2* y *alternativa 3* aumenta en mayor medida que la pendiente del bienestar asociado a la *alternativa 1*, dado que la tarificación de acuerdo al coste marginal a largo plazo afecta negativamente en mayor medida a las alternativas en las que el coste de construcción es mayor. Esto hace que, con una tarificación con respecto al coste marginal a corto plazo, el ferrocarril sea más atractivo desde el punto de vista social.

#### 6.4. Elección de la infraestructura con tarificación de acuerdo al coste marginal a largo plazo en ambas infraestructuras y ferrocarril regulado

Al igual que en la sección 6.3, supondremos que el margen sobre los costes marginales a corto plazo es de 2 euros en el caso del transporte aéreo y de 30 euros en el caso del transporte ferroviario, es decir:  $A = 2$  y  $T = 30$ .

En el caso de que el regulador decida restringir el poder de mercado del monopolista ferroviario, la pendiente del bienestar social asociado a la *alternativa 2* y a la *alternativa 3* aumentará con respecto al caso en el que el ferrocarril no está regulado, haciendo que el umbral mínimo de consumidores necesario para construir el ferrocarril disminuya. Esto puede comprobarse numéricamente en la **Tabla 4**, donde se observa que el umbral mínimo necesario para que la elección óptima sea la *alternativa 3* pasa de ser 421.300 consumidores sin regulación en el ferrocarril a 280.660 consumidores cuando el ferrocarril está regulado. Sin embargo, nótese que, dado que el ferrocarril está regulado, los consumidores demandan más viajes en este modo de transporte y menos de transporte aéreo, y por tanto el número de viajes en ferrocarril asociado al umbral mínimo de consumidores es mayor cuando el ferrocarril está regulado.

Los 280.660 consumidores necesarios en este caso deben realizar un mínimo de 18.685.220 viajes en avión (cubriendo todos los costes marginales de operación y mantenimiento de la infraestructura y unos 37 millones de los 100 millones de euros que supone el coste de oportunidad de la inversión en infraestructura aeroportuaria) y 14.986.402 viajes en tren (cubriendo todos los costes marginales de operación y mantenimiento de la infraestructura y unos 450 millones de los 500 millones de euros que supone el coste de oportunidad de la inversión en infraestructura ferroviaria) para que construir ambas infraestructuras sea óptimo. Si bien es cierto que la *alternativa 2* puede ser óptima para un número de consumidores entre 266.670 y 280.660, requeriría que estos consumidores realizasen un mínimo de 26.667.000 viajes en ferrocarril y cubrieran todos los costes marginales de operación y mantenimiento de la infraestructura y la totalidad del coste de oportunidad de la inversión más un excedente adicional.

**Tabla 4. Comparación de alternativas si el regulador tarifica ambas infraestructuras de acuerdo al coste marginal a largo plazo y el ferrocarril está regulado**

|   | <b>Alternativa 1:<br/>solo avión</b> | <b>Alternativa 2:<br/>solo tren</b> | <b>Alternativa 3:<br/>avión y tren</b>             |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>Precio de acceso</b>                 | $\mu_a = 12$                         | $\mu_t = 50$                        | $\mu_a = 12$<br>$\mu_t = 50$                       |
| <b>Precio del billete</b>               | $p_1 = p_2 = 70$                     | $p_t = 80$                          | $p_1 = p_2 = 62,7$<br>$p_t = 80$                   |
| <b>Número de viajes por consumidor</b>  | $q_1 + q_2 = 100$                    | $q_t = 100$                         | $q_1 + q_2 = 67$<br>$q_t = 53$                     |
| <b>Bienestar social</b>                 | $SW_a = 6500N - 100.000.000$         | $SW_t = 8000N - 500.000.000$        | $SW_{t+a} = 8356,3N - 600.000.000$                 |
| <b>Umbral mínimo de consumidores</b>    | $N = 15.385$                         | $N = 266.670$                       | $N = 280.660$                                      |
| <b>Número mínimo de viajes en total</b> | $N(q_1 + q_2) = 1.538.500$           | $Nq_t = 26.667.000$                 | $N(q_1 + q_2) = 18.685.220$<br>$Nq_t = 14.986.402$ |

## 7. CONCLUSIONES

Las decisiones de inversión y tarificación son inseparables en una planificación eficiente de las infraestructuras públicas. La experiencia española muestra que este principio esencial de economía no ha sido tenido en cuenta así en nuestro país y que primero se han tomado las decisiones de inversión y con posterioridad se ha tarificado por su uso. También se ha ignorado en la decisión de inversión que algunas de las infraestructuras que vieron luz verde no resolvían un problema de suficiente envergadura como para justificar una utilización tan abultada de fondos públicos. Este es el caso de las inversiones realizadas en el tren de alta velocidad en un país que ya disponía de una magnífica red de aeropuertos que resolvía sobradamente el problema de los viajes de media distancia. Así lo corroboran los distintos estudios de evaluación realizados por académicos independientes.

El objetivo de este trabajo no ha sido el de añadir otra evaluación al conjunto de las existentes. Su motivación está ligada a la necesidad de que recuperemos en España los principios económicos básicos en la planificación de nuevas infraestructuras, y uno de los principios más trascendentes es que no se puede evaluar si una infraestructura es

socialmente deseable si previamente no se explicita el criterio de tarificación que va a emplearse una vez puesta a disposición del público.

El problema lo hemos abordado considerando una economía en la que los individuos que la componen tienen preferencias por viajar en tren y en avión. Ambos modos de transporte, no siendo perfectamente sustitutivos, presentan en el mundo real unas cuotas de mercado que varían de manera sustancial con pequeños cambios en sus precios relativos. En este estudio hemos considerado tres opciones de inversión en infraestructuras (solo transporte aéreo, solo ferroviario y ambos) y dos políticas de precios (coste marginal a corto y una aproximación a los costes marginales a largo).

Las conclusiones obtenidas se basan en la modelización realizada y una ilustración numérica consistente en unir dos regiones separadas por 600 kms, utilizando parámetros similares al corredor Madrid-Barcelona que es la línea de mayor demanda en España. Los resultados obtenidos permiten concluir que, con la población existente y el número de viajes que se realizan en España, la opción de construir aeropuertos exclusivamente hubiese sido la opción socialmente óptima tanto si se cobra un precio de acceso igual al coste marginal a corto plazo (subvencionando los costes de inversión), como si se cobra un precio que cubra los costes marginales a corto plazo y al menos una parte de los costes de construcción.

Para que fuese socialmente rentable construir aeropuertos y la línea de alta velocidad, en lugar de solo aeropuertos, se requiere un volumen de usuarios que es muy superior al que actualmente tiene el corredor de tráfico de mayor volumen en España. A partir de un volumen mínimo de pasajeros es socialmente óptimo construir sólo la red de aeropuertos y es a partir de volúmenes de tráfico mucho mayores que los actuales cuando se justifica construir la red de alta velocidad superponiéndose a la ya existente aeroportuaria.

Es interesante destacar que en la modelización no se contempla el hecho capital del carácter multiproducto de la infraestructura aeroportuaria (vuelos domésticos, internacionales y carga) frente a la singularidad de la ferroviaria de alta velocidad (prácticamente solo viajes interurbanos domésticos). Esto quiere decir que la conclusión de retrasar la construcción de alta velocidad es aún más firme si se añaden estos beneficios adicionales: hay que esperar hasta que el número de individuos en la economía sea muy

grande, en comparación con el existente, para que construir ambas redes sea socialmente rentable.

Otra conclusión es que frente a la irreversibilidad de las inversiones en infraestructura aeroportuaria y ferroviaria, el problema es mucho menor en el caso de la primera. No sólo porque la primera es menos costosa que la segunda sino porque el añadir nuevos tramos es más barato al necesitarse un aeropuerto adicional en lugar de dos, mientras que en la ferroviaria un nuevo tramo requiere construir otros 600 kms de vía al ser el coste de las estaciones marginal en comparación con el coste de la vía. Además, el tren plantea un problema de indivisibilidad muy superior al del aeropuerto. Hay distintos tamaños de infraestructura aeroportuaria para distintos tamaños de población pero en ferrocarril hay que construir lo mismo para un millón de viajeros que para veinte.

La irreversibilidad de la inversión, las indivisibilidades, el carácter multiproducto de los aeropuertos, su menor coste, su menor utilización de suelo y de efecto barrera sobre el territorio, hace que atender la movilidad interurbana de media distancia con transporte aéreo es una opción superior en la mayoría de los casos incluso si se llevan a precios sólo los costes variables y se financian los fijos de construcción con impuestos. Si se tarifica de acuerdo a una aproximación al coste total medio, la población que necesitaríamos para hacer rentable la opción de construir la línea de alta velocidad es muy superior a la que se requiere con una tarificación de acuerdo al coste marginal a corto.

El carácter irreversible de la inversión hace que, una vez que se han construido las líneas de alta velocidad en España sin justificación económica, estemos en un equilibrio subóptimo, siendo ahora mejor utilizar la red existente con la condición de que el usuario esté dispuesto a pagar el coste marginal de utilizarla (incluido el coste de oportunidad de dañar el valor de la red aeroportuaria para vuelos de conexión internacional). Es decir, la red ya existe y hay que utilizarla pero esta irreversibilidad no alcanza a lo que todavía no ha sido construido ya que el efecto red en este tipo de movilidad interurbana de punto a punto no es muy importante. Esto se traduce en que no hay por qué seguir construyendo nuevos tramos si su evaluación previa no indica que los beneficios sociales esperados son superiores a sus costes de construcción, que por ahora son evitables frente a los hundidos de la red existente. Lo óptimo sería parar y esperar hasta que el crecimiento de la población y las ganancias potenciales por cambios en los costes generalizados hiciesen rentable continuar expandiendo la red. Esperar es rentable.

## Anexo

### *El beneficio social de las alternativas de inversión*

Tres son los proyectos de inversión mutuamente excluyentes en nuestro modelo: o se construye solo la infraestructura aeroportuaria, o se construye solo la infraestructura ferroviaria, o se construyen ambas infraestructuras de transporte. Por simplicidad, supondremos que todas las infraestructuras tienen una vida infinita con lo que su beneficio social neto descontado,  $NPV_s$ , puede expresarse como:

$$NPV_s = -K + \frac{\bar{B}}{r},$$

donde  $K$  es el coste de la inversión que se produce en el momento inicial y  $\bar{B}$  son los beneficios anuales netos, que se producen a final de cada año y son constantes durante toda la vida de la inversión.

Con beneficios anuales netos constantes y vida infinita de la infraestructura, la decisión de construir ya en lugar de posponer la inversión (*optimal timing*) ha de cumplir la siguiente expresión:

$$\frac{B_1}{1+r} > \frac{rK}{1+r},$$

donde  $B_1$  representa los beneficios netos del primer año. En otras palabras, si el beneficio neto del primer año es mayor que el coste de oportunidad de los fondos públicos conviene construir ya.

En nuestro caso, con beneficios constantes y duración de la infraestructura a perpetuidad, si el beneficio social neto descontado es positivo,  $NPV_s > 0$ , entonces  $\bar{B} > rK$ . Dado que los beneficios anuales netos son idénticos a lo largo de toda la vida de la inversión,  $\bar{B} = B_1$ , y la condición que ha de cumplirse para construir hoy en lugar de postponer la inversión claramente se satisface.

Si se admite que el beneficio anual no es constante y que crece cada año a una tasa  $\theta < r$ , que el beneficio social neto descontado sea positivo no implica que se satisfaga necesariamente la condición que ha de cumplirse para construir hoy en lugar de postponer la inversión, ya que el beneficio social neto descontado ahora es:

$$NPV_s = -K + \frac{B_1}{r - \theta}.$$

En este caso puede ocurrir que el  $NPV_s$  del proyecto sea positivo pero convenga retrasar el proyecto un año al no cumplirse la condición de que  $B_1 > rK$ .

En nuestro modelo, el bienestar social se define como el beneficio neto anual (obtenido como la suma del excedente de los  $N$  consumidores que existen en la economía, los beneficios de los operadores y los beneficios generados por el uso de la o las infraestructuras de transporte) menos el coste de oportunidad de los fondos públicos destinados a construir hoy esas infraestructuras. Así pues, nuestro ejercicio de modelización y cálculo del bienestar social de las distintas alternativas de inversión puede interpretarse de dos maneras. Una, con la demanda y costes anuales constantes y por tanto con un beneficio neto anual constante durante toda la vida de la infraestructura. En este caso, cuando en nuestro modelo el bienestar social es positivo significa que el beneficio social neto descontado durante la vida infinita del proyecto es positivo. Otra interpretación es permitir que la demanda crezca de manera que el beneficio neto anual crezca cada año. En este caso tenemos que suponer que el proyecto es rentable con su vida a perpetuidad y, dada esta condición previa, un bienestar social positivo en nuestro modelo significa que es óptimo construir ya en lugar de posponer la inversión.

## Referencias

AENA (2016): *Informe Anual y de RC 2015*. Disponible en: [http://www.aena.es/csee/ccurl/666/644/Memoria\\_FINAL\\_ESP\\_02\\_bj.pdf](http://www.aena.es/csee/ccurl/666/644/Memoria_FINAL_ESP_02_bj.pdf)

Albalade, D. y Bel, G. (2015): “La experiencia internacional en alta velocidad ferroviaria”. *FEDEA, Documentos de Trabajo 2015-02*.

Atkins (2004): *High speed line study*. Department of Environment, Transport and the Regions. London.

Betancor, O. y Llobet, G. (2015): “Contabilidad financiera y social de la alta velocidad en España”. *FEDEA, Documentos de Trabajo 2015/09*.

Chen, C.F. y Chang, Y.Y. (2008): “Airline brand loyalty, brand preference, and purchase intentions: the moderating effects of switching costs”. *Journal of Air Transport Management* 14(1), 40-42.

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (2016): *Resolución sobre la propuesta de cánones de ADIF y ADIF Alta Velocidad para 2017 y por la que se adoptan medidas para el próximo ejercicio de supervisión de acuerdo al artículo 11 de la ley 3/2013, de 4 de Junio*. Disponible en:

[https://www.cnmc.es/Portals/0/Ficheros/Transporte\\_Postales/SectorFerroviario/Resoluciones/161103\\_DTSP\\_200\\_16.pdf](https://www.cnmc.es/Portals/0/Ficheros/Transporte_Postales/SectorFerroviario/Resoluciones/161103_DTSP_200_16.pdf)

Commission for Integrated Transport (2004): *High Speed Rail: International Comparisons* (Londres: Commission for Integrated Transport).

de Rus, G. (2011): “The BCA of HSR: Should the government invest in high speed rail infrastructure?”. *The Journal of Benefit-Cost Analysis*, 2 (1).

de Rus, G. (2012): *Economic evaluation of the high speed rail*. Expert Group on Environmental Studies. Ministry of Finance. Sweden:

<http://www.ems.expertgrupp.se/Default.aspx?pageID=3>.

de Rus, G. e Inglada, V. (1993): “Análisis coste-beneficio del tren de alta velocidad en España”. *Economía Aplicada* 3, 27-48.

de Rus, G. y Nash, C.A. (2007): *In what circumstances is investment in high-speed rail worthwhile?* Working Paper 590, Institute for Transport Studies, University of Leeds.

de Rus, G. y Nombela, G. (2007): “Is investment in high speed rail socially profitable?”. *Journal of Transport Economics and Policy* 41 (1), 3-23.

de Rus, G. y Román, C. (2005): *Economic evaluation of the high speed rail Madrid-Barcelona*. 8th NECTAR Conference. Las Palmas, Spain.

de Rus, G. y Socorro, M. P. (2014): “Access pricing, infrastructure investment and intermodal competition”. *Transportation Research Part E* 70, 374-387.

EMCT (2005): *Charges for the use of infrastructure in ECMT railways. Report and recommendations*. European. Conference of Ministers of Transport. OECD, Paris.



- Fogel, R.W. (1962): “A Quantitative Approach to the Study of Railroads in American Economic Growth: A Report of Some Preliminary Findings”. *The Journal of Economic History* 22(2), 163-197.
- Givoni, M. y Banister, D. (2007): “Role of railways in the future of air transport”. *Transportation Planning and Technology* 30(1), 95-112.
- Gómez-Ibáñez, J.A. y G. de Rus, eds. (2006): *Competition in the railway industry. An international comparative analysis*, 1-24. Edward Elgar. Cheltenham.
- Janic, M. (2003): “The potential for modal substitution”, en Upham, P., Maughan, J., Raper, D., Thomas, C. (eds.), *Towards Sustainable Aviation*, 131-148 (Londres: Earthscan).
- Kageson, P. (2009): *Environmental aspects of inter-city passenger transport*. OECD-ITF Transport Research Centre. Discussion Paper, 2009-28.
- Laffont, J.J. and J. Tirole (1993): *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Levinson, D., Mathieu, J.M., Gillen, D. y Kanafani, A. (1997): “The full cost of high-speed rail: an engineering approach”. *The Annals of Regional Science* 31, 189-215.
- Ministerio de Fomento (2013): *Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda PITVI (2012-2024)*. Madrid.
- Nash, C. A. (2003): “Marginal cost and other pricing principles for user charging in transport: a comment”. *Transport Policy* 10 (2), 345-348.
- Rothengatter, W. (2003): “How good is first best? Marginal cost and other pricing principles for user charging in transport”. *Transport Policy* 10 (2), 121-130.
- Sánchez-Borràs, M. (2010): “High speed rail in Spain”. Paper presented at the 1<sup>st</sup> TEMPO Conference on Sustainable Transport, Oslo. Norway.
- Singh, N. y Vives, X. (1984): “Price and quantity competition in a differentiated duopoly”. *Rand Journal of Economics* 15(4), 546-554.
- Vickerman, R. (2009): “Indirect and wider economic impacts of high speed rail”, en G. de Rus (ed.), *Economic Analysis of High Speed Rail in Europe*, Fundación BBVA, Madrid.