
LA RED DE FERROCARRILES EN EL LABORATORIO

AURORA GARCÍA-GALLEGO (*)

Laboratorio de Economía Experimental
y Departamento de Economía
Universitat Jaume I

NIKOLAOS GEORGANTZÍS

Laboratorio de Economía Experimental-UJL
y School of Agriculture, Policy and Development
University of Reading, UK

GERARDO SABATER-GRANDE

Laboratorio de Economía Experimental
y Departamento de Economía
Universitat Jaume I

Las redes de transporte se construyen en espacios definidos y limitados por especificidades geográficas y límites geopolíticos. En consecuencia, dichas redes acaban asumiendo asimetrías inevitables, contrarias a los enfoques teóricos y experimentales tradicionales, definidos sobre espacios abstractos y, por tanto, ideales. Motivados por la necesidad de soluciones a un problema

real más que por la mencionada crítica a la literatura publicada sobre redes de transporte, centramos nuestra atención en una red de transporte de ferrocarril existente. Concretamente, usamos información del mundo real sobre las características de la demanda de transporte de viajeros y la infraestructura de la red ferroviaria en España para construir un entorno experimental complejo, con el fin de testar la eficiencia de diferentes obligaciones alternativas de provisión de servicios impuestas a los operadores ferroviarios.

El objetivo del experimento que proponemos es analizar la influencia que determinadas restricciones sobre servicios mínimos puede tener en las tarifas y en la programación de servicios escogidos por los operadores de la red ferroviaria. Se proponen tres tratamientos: un tratamiento sin servicios mínimos y dos tratamientos con requerimientos mínimos alternativos. Dichos requerimientos mínimos son diseñados con el objetivo de maximizar el bienestar social siguiendo la solución del modelo teórico propuesto. Adicionalmente, estamos interesados en analizar la influencia de los procesos de aprendizaje por parte de los operadores de la red en presencia de competencia real por los derechos so-

bre rutas y conexiones ferroviarias. Se propone una red experimental sencilla que captura a su vez las características intrínsecas de la red ferroviaria española y nos permite centrarnos en cuestiones de complementariedad entre estaciones y sustituibilidad entre surcos horarios. Adicionalmente, prestamos especial atención a asimetrías en costes y demanda permitiendo un grado de dificultad considerable en el proceso de toma de decisiones.

Aunque existe un cuerpo de literatura creciente que ha analizado cuestiones similares en redes de distribución adoptando un largo espectro de metodologías, nuestro diseño experimental es el primero en tratar asimetrías en la red ferroviaria. Por ejemplo, Grether, Isaac y Plott (1981, 1989) analizan la asignación de surcos horarios en aeropuertos de EEUU, mientras McCabe, Rassenti y Smith (1994) estudian la asignación de la red de distribución de gas natural. Más recientemente, Murphy *et al.* (2000, 2006) y García-Gallego *et al.* (2012) estudiaron la administración de la red de distribución de agua, mientras que Rassenti, Smith y Wilson (2001, 2002, 2003) y Ramírez-Escobar *et al.* (2011) se centran en mercados eléctricos.

En cuanto a la privatización de la red ferroviaria, Brewer y Plott (1996) confirman que una subasta de segundo precio es un mecanismo de vaciado de mercado apropiado para conseguir un grado de eficiencia cercano al 100%. Posteriormente, Nilsson (1999) demostró que una subasta Vickrey podría ser también un método satisfactorio para asignar derechos de propiedad de uso de la red ferroviaria. Issacson y Nilsson (2003) compararon los dos mecanismos, encontrando diferencias insignificantes entre ellos. Nilsson (2002) ofrece una optimización matemática alternativa tomando en cuenta los requerimientos administrativos bajo las alternativas estudiadas. De forma paralela a la metodología experimental, algunos investigadores han empleado simulaciones, como las presentadas por Parkes y Ungar (2001), proponiendo subastas más adecuadas para ser utilizadas en un mercado ferroviario liberalizado. En dicho entorno, el ministro de educación e investigación alemán financió un estudio sobre mecanismos de subasta para ser usados en la asignación eficiente de surcos horarios en la red. Borndörfer *et al.* (2005) presentan una subasta combinatoria como solución al problema en el caso alemán objeto de estudio. El problema principal resuelto hace referencia a posibles efectos cruzados entre un cuello de botella local y el resto de partes de la red, incluyendo aquellas de menor demanda.

En referencia al entorno de competencia deseable, las autoridades alemanas financiaron el estudio realizado por Cox *et al.* (2002) cuyos resultados guiaron la recomendación del ministro de transporte alemán al parlamento. Dicha recomendación fue escoger la competencia por el mercado en vez de la competencia en el mercado para conseguir la provisión de servicios de mayor calidad a la tarifa más baja posible, sujeta a restricciones de servicios mínimos.

En un contexto de liberalización de servicios ferroviarios, nuestra finalidad es analizar cómo la asignación de los derechos de uso de la red podría verse afectada por requerimientos de servicios. En particular, se analiza el efecto de servicios mínimos obligatorios sobre los operadores en la programación de sus rutas y sus correspondientes tarifas. Dichos mínimos son diseñados con el objetivo de maximizar el bienestar social y son calculados usando el modelo teórico en el caso de que la red sea administrada por un único y benevolente operador. Nuestras sesiones produjeron evidencias sin precedentes en la administración de la red de transporte. En concreto, nuestros resultados indican que la imposición de mínimos en las rutas menos rentables conlleva un aumento no sólo del bienestar social sino también de los beneficios de los operadores en comparación con un régimen descentralizado. La causa de ello es que se genera un tráfico más denso que incrementa la conectividad de la red que afecta significativamente a la demanda total.

METODOLOGÍA - HIPÓTESIS A TESTAR ¶

Con el objetivo planteado, se implementa un experimento en el laboratorio que utiliza un entorno estilizado a escala reducida de la red ferroviaria española co-

mo banco de pruebas para diseñar servicios mínimos socialmente deseables para ser cumplidos por los operadores ferroviarios que compiten por los derechos de uso de la red en una subasta. Para ello, en primer lugar, programamos un algoritmo de optimización que calcula las soluciones ideales (rutas y tarifas) para cada uno de los siguientes casos: a) Maximización del bienestar social, (b) Maximización del bienestar social sujeto a la restricción de beneficios no negativos para los operadores, c) Maximización de los beneficios para un único proveedor del servicio en toda la red. Este tipo de experimentos permite a los economistas y a los legisladores testar y refinar las reglas de mercado sin incurrir en los riesgos y gastos intrínsecos a efectuar pruebas en el mundo real. Son especialmente recomendables para estudiar mecanismos institucionales como la desregularización, la privatización o la provisión de bienes públicos. Dichos mecanismos generalmente son tan complejos que la teoría económica existente no ofrece predicciones precisas. En este sentido, el laboratorio constituye un banco de pruebas para examinar el comportamiento de nuevas instituciones propuestas y, dependiendo de los resultados, modificar sus reglas e implementación. Esta metodología puede ofrecer respuestas para cuestiones tales como la asignación de surcos horarios en el transporte aéreo, la subasta de licencias en el mercado de las comunicaciones, la regulación de mercados, etc.

En este caso concreto se analiza el efecto de la imposición de mínimos en la provisión del servicio que maximicen el bienestar social, sobre: a) la programación de rutas ferroviarias por parte de los operadores, b) las tarifas cargadas en el proceso de subasta, c) el excedente de los consumidores, d) el excedente de los operadores, y e) el bienestar social. Estamos interesados en estudiar si un regulador puede ser beneficioso no solo para los pasajeros, sino también para los proveedores del servicio. Ello es así, en tanto en cuanto el regulador puede tener en cuenta el potencial de la red ferroviaria al completo, superando una posible visión miope que los operadores pudieran tener de los diferentes derechos de uso de la red.

A continuación, dividimos nuestro análisis en dos grandes secciones: aquella referida a las variables estratégicas del modelo (tarifas y rutas programadas por los proveedores del servicio) y aquella que concierne a las variables resultado (estructura competitiva derivada de la subasta de los derechos de uso de la red, demanda final, conectividad de la red, beneficio de los operadores, excedente de los consumidores y bienestar social). Se analizan las variables de decisión de los participantes en el experimento: las tarifas con las que los aspirantes a proveedor del servicio pujan por los derechos de uso de las diferentes partes de la red ferroviaria, y las rutas que ofrecerían una vez los derechos de uso han sido asignados a los proveedores, en función de los resultados de la subasta.

Se tratan las siguientes cuestiones relevantes de política:

Cuestión 1: ¿Permite el aprendizaje sobre el uso de la red incrementar la competencia en la subasta que conlleva un descenso en las tarifas?

Cuestión 2: ¿Internalizan los operadores del servicio los servicios mínimos incrementando de manera sistemática y significativa las tarifas en las rutas menos rentables?

Cuestión 3: ¿Permite el aprendizaje sobre el uso de la red modificar la programación de rutas cuando no son rentables para los operadores?

Cuestión 4: ¿Son efectivos los servicios mínimos para incrementar el número de servicios en las rutas menos rentables?

Cuestión 5: ¿Afecta el aprendizaje sobre el uso de la red a la estructura competitiva generada en la subasta?

Cuestión 6: ¿Afectan los servicios mínimos a la estructura competitiva generada en la subasta?

Cuestión 7: ¿Afecta el aprendizaje sobre el uso de la red al número de pasajeros transportados dependiendo de la rentabilidad de la ruta?

Cuestión 8: ¿Afectan los servicios mínimos al número de pasajeros transportados dependiendo de la rentabilidad de la ruta?

Cuestión 9: ¿Generan los servicios mínimos una mayor conectividad originando un incremento de la demanda total? ¿Podría este efecto ser explotado por los operadores del servicio para establecer una mayor frecuencia en la provisión del servicio aumentando la demanda total?

Cuestión 10: ¿Afecta el aprendizaje sobre el uso de la red a los beneficios de los operadores?

Cuestión 11: ¿Afectan los servicios mínimos a los beneficios de los operadores?

Cuestión 12: ¿Afectan los servicios mínimos al excedente del consumidor dependiendo de la rentabilidad de cada ruta?

Cuestión 13: ¿Afectan los servicios mínimos al bienestar social?

Características de la oferta y la demanda ↓

Nuestro objetivo es proponer una red experimental que sea lo más simple posible, pero que a su vez logre capturar las características intrínsecas de la red ferroviaria española. La red debe permitirnos distinguir entre regiones, estaciones y rutas entre ellas. Definiremos una estación como un lugar donde los pasajeros pueden embarcar y desembarcar. Una ruta es una conexión entre estaciones y una región un conjunto de estaciones donde existe una concentración de pasajeros relevante. La red es de doble sentido por lo que es imposible hacer correr más de un tren en cada sentido en cualquier ruta en cualquier franja horaria. Viajar de una estación a otra dentro de una región requiere una duración de una franja horaria. Viajar entre estaciones adyacentes de diferentes regiones tiene la misma duración.

Suponemos que dicha red está definida a partir de los siguientes supuestos:

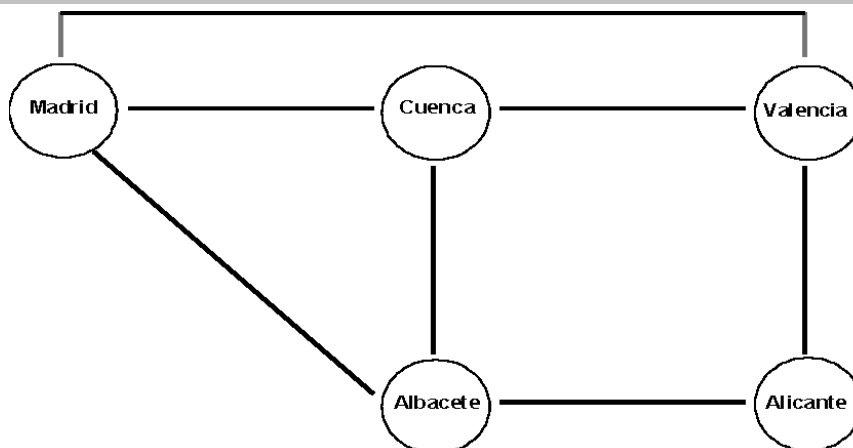
1) Considerando como un bien de mercado cada combinación de una ruta y una franja horaria, asumimos la existencia de complementariedades entre estaciones y sustituibilidades entre franjas horarias para dicho bien. La sustituibilidad entre franjas implica que la demanda para cualquier ruta entre dos estaciones en un horario determinado es menor si existen otros trenes en la misma ruta en franjas horarias adyacentes. La complementariedad entre estaciones implica que la demanda para cualquier ruta entre dos estaciones en un horario determinado es mayor si existen trenes de conexión en franjas horarias adyacentes. De esta manera asumimos que la demanda de transporte: (a) está negativamente relacionada con el precio del transporte; (b) está negativamente relacionada con el tiempo de viaje; (c) es mayor si existen conexiones entre trenes (complementariedad entre estaciones); (d) es menor si existen otros trenes en la misma ruta en franjas horarias adyacentes; (e) es mayor en algunas franjas horarias (punta) que en otros (franjas horarias valle).

2) La estructura de costes está conformada por unos costes fijos –que reflejan el coste de amortización del tren en cuestión– y unos costes variables ligados a la actividad y que incluyen tasas por el uso de la infraestructura. Por simplicidad asumimos costes marginales por pasajero adicionales, es decir, suponemos que no existen restricciones de capacidad. Dicha estructura de costes dependerá del tipo de tren establecido que ofrece el servicio en una ruta determinada.

La red propuesta consiste en dos zonas geográficas, MCA (Madrid-Cuenca-Albacete) y VAIA (Valencia-Alicante-Albacete) y dos conexiones MV (Madrid-Valencia) y CAI (Cuenca-Alicante). Hay una ruta de doble sentido entre cada par de estaciones adyacentes. Además de estas rutas entre estaciones adyacentes, en ambas regiones hay una ruta directa de doble sentido entre Madrid y Albacete y entre Valencia y Albacete. Ello permite a un tren rápido viajar de Madrid (Valencia) a Albacete, lo que impediría hacer marchar en la misma franja horaria un tren local de Madrid (Valencia) a Cuenca (Alicante) o de Cuenca (Alicante) a Albacete. Esta información (1) se resume en la figura 1, en la página siguiente.

El uso de un tren en diferentes franjas horarias está limitado por restricciones de carácter puramente físico. En cualquier estación y franja horaria, un nuevo tren puede ser utilizado (asumiendo los costes fijos y variables correspondientes). Un tren que ha sido usado en una franja horaria anterior puede ser empleado otra vez (asumiendo los costes variables correspondientes) si está disponible en la estación de la que debe partir. Para simplificar, suponemos que existen cinco franjas horarias, dos de ellas (la 1 y la 5) consideradas punta por su mayor tráfico de pasajeros y el resto (2, 3 y 4) consideradas como franjas horarias valle por su menor tráfico. Debemos recordar que asumimos que no existen limitaciones de capacidad en cualquier ruta, lo que im-

FIGURA 1
RED FERROVIARIA



FUENTE: Elaboración propia.

plica que los costes marginales para un pasajero adicional son nulos para cualquier cantidad.

En el experimento, los sujetos adoptan el rol de proveedores de servicios de pasajeros. La demanda para estos servicios se simula por parte del software a programar y se da a conocer a los sujetos experimentales. Para determinar la demanda en cualquier ruta tomaremos como referencia una demanda básica que varía entre rutas, pero que es común a las franjas horarias no consideradas como horarios punta.

Los únicos decisores estratégicos son los proveedores de servicios de transporte ferroviarios. La demanda para el servicio es simulada por el programa y dada a conocer a los participantes. De esta manera, la demanda D_{ij}^t para una ruta ij , donde $i, j \in \{Ma, Val, Cu, Alb, Al; i \neq j\}$ en un surco horario $t \in \{1, 2, \dots, 5\}$ es:

$$D_{ij}^t = DB_{ij}^t - P_{ij}^t - \beta (D_{ij}^{t-1} + D_{ij}^{t+1}) + \delta (\sum_{k \in C_{ij}} D_{ki}^{t-1} + \sum_{j' \in C_{ij}} D_{j't}^{t+1})$$

donde D_{ij}^t es la demanda básica correspondiente a la ruta ij en el surco horario t (diferente para cada ruta), P_{ij}^t es la tarifa cargada para esa ruta concreta, C constituye el conjunto formado por todas las rutas en la misma dirección que ij llegando hasta i o partiendo de j . Por último, $\beta \in (0,1)$ denota el grado de sustituibilidad entre surcos horarios adyacentes (en nuestro caso, ha sido calibrado para tomar el valor de 0,2) y δ denota el grado de complementariedad entre estaciones (en nuestro caso, toma el valor de 0,2). De esta manera, se observa que la demanda para una ruta determinada disminuirá con un aumento de la tarifa cargada y con la existencia de trenes programados en surcos horarios adyacentes para dicha ruta. Por el contrario, la demanda aumentará si hay trenes que ofrezcan una conexión desde otras rutas en surcos horarios adyacentes. Para determinar el excedente del consumidor en una determinada ruta y surco horario, simplemente hay que restar la tarifa pagada por el transporte contrata-

do del precio de reserva determinado por la función de demanda.

Diseño experimental

Con el objetivo de analizar la influencia de la imposición de servicios mínimos sobre la programación establecida por los operadores y las tarifas cargadas sobre el servicio, se presentan tres tratamientos.

Cada sesión experimental consta de 5 rondas, cada una de ellas con dos partes. En la primera parte (parte A) de cada ronda se asignan mediante subasta los derechos de uso en cada corredor de la red. En la segunda parte (parte B) los operadores deciden qué rutas programar atendiendo a los requerimientos mínimos establecidos en el tratamiento y las tarifas comprometidas en la parte A. El programa de rutas programado por los sujetos se realiza con la asistencia de un programa informático que evita la colisión de trenes en cualquier esquema de rutas y horarios programado por el sujeto.

En todas las rondas los mercados estarán constituidos por cuatro operadores, uno por cada derecho de uso o franquicia disponible en la red experimental presentada.

Asignación de los derechos de uso de la red. Todos los operadores potenciales tienen idéntico acceso a los derechos de uso de los corredores. La asignación de los derechos de uso se lleva a cabo mediante subasta en cada ronda en la que los operadores pujan proponiendo tarifas para cada ruta. Los sujetos deben pujar por los derechos de uso de las dos regiones y las dos conexiones anteriormente descritas. Los ganadores deberán hacer correr trenes según las concesiones ganadas en la parte anterior de la ronda, pero ocasionalmente (en $t1$ y $t2$, no así en $t0$) deberán cumplir un requisito de servicios mínimos sobre determinadas rutas y franjas horarias.

Cada ronda se abre un proceso de subasta (parte A de la ronda) como la que se describe a continuación.

La subasta tiene lugar durante un máximo de 5 periodos de puja. Durante cada periodo de puja cada operador puede realizar hasta 4 pujas (una puja por región/conexión) pero se establece un máximo de 12 pujas (3 pujas por región/conexión) por operador, para los 5 periodos que comprenden el proceso de subasta. Al final de cada periodo de subasta, las mejores pujas se hacen públicas a todos los operadores. La mejor puja para obtener el derecho de uso sobre una región o una conexión de la red es aquella que fija el precio medio más bajo para dicho segmento. Por lo tanto, cada operador conoce, en cada periodo de puja, si posee la mejor puja para una zona determinada hasta el momento. Aunque posea la mejor puja se le permite realizar una nueva puja en el siguiente periodo, siempre que ésta sea inferior a la actual. Si un operador posee la mejor puja en un periodo, ésta seguirá siendo la mejor mientras no sea mejorada en un periodo posterior. En tal caso, la nueva puja reemplazará a la antigua como mejor puja. Las pujas ganadoras son las establecidas en el último periodo de puja. Dicho último periodo es el 5, con una excepción. La excepción se refiere a la inclusión de la regla siguiente: a partir del periodo 3 de subasta no comienza un nuevo periodo de subasta si no se mejora la puja para alguno de los segmentos de la red cuyos derechos de uso se subastan. En consecuencia, si la mejora comentada no se produce en el periodo, dicho periodo será el último periodo de subasta y, por tanto, el que determina las pujas ganadoras.

Los derechos de uso son subastados 5 veces (una vez cada ronda) a lo largo de cada sesión experimental. De esta manera, los operadores pueden aprender a lo largo de la sesión qué precios les resulta rentable proponer para cada conexión en función de los beneficios obtenidos en rondas anteriores.

Programación de rutas y precios. Una vez asignados los derechos de uso en la parte A de la ronda, dichos derechos permanecen fijos durante la parte B de esa ronda. Dicha parte B consta de 5 periodos, donde los operadores programan sus rutas atendiendo a los requerimientos mínimos del tratamiento experimental correspondiente (en t1 y t2, pero ninguno en t0). De esta manera, en t1 y t2 los sujetos pueden fijar una programación que esté por encima del mínimo establecido, pero respetando para todas las rutas y franjas horarias los precios comprometidos en el proceso de puja (parte A).

Cada periodo, los operadores programan sus trenes sin conocer las decisiones del resto de operadores de la red. Una vez se han llevado a cabo todas las programaciones del periodo, la demanda de cada operador es simulada por el sistema (siguiendo la estructura de la función de demanda presentada anteriormente) y ello determina sus ganancias del periodo. Nuestro experimento se ejecuta bajo la condición de información imperfecta. Los jugadores no conocen ni la forma ni el tamaño de la función de demanda de mercado. La única información disponible que tienen los operadores hace referencia a la programación de rutas establecida por cada operador rival y sus precios.

A la luz de esta información, los operadores pueden volver a escoger nuevas programaciones en el periodo siguiente. Una vez terminado este proceso de 5 periodos de programación, comienza una nueva ronda donde se vuelven a asignar los derechos de uso de la red mediante subasta.

Dada la complejidad del experimento, antes de comenzar es necesario proceder a entrenar a los sujetos participantes en dos materias: (1) la programación de trenes en una red experimental y la fijación de sus precios en función de la competencia y (2) el proceso de subasta de asignación de derechos de uso sobre la red. Dicho entrenamiento nos permite descartar a los sujetos que arrojen unos resultados deficientes en la comprensión de los conceptos anteriormente mencionados. Este proceso de entrenamiento es remunerado con una cantidad fija de 10€ que responde al tiempo empleado por parte de los sujetos participantes y es abonada en efectivo el día de la sesión experimental. De esta manera, los sujetos participantes en el experimento cobran un fijo por el entrenamiento y un variable en función de las decisiones tomadas en la sesión experimental propiamente dicha.

El experimento consta de tres tratamientos experimentales, con 80 participantes cada uno y 25 periodos de decisión. Cada tratamiento se llevó a cabo en dos sesiones experimentales. En cada sesión participaron 240 sujetos voluntarios reclutados entre los cursos de ADEM, Economía y Finanzas y Contabilidad mediante el servidor informático ORSEE del LEE (Laboratorio de Economía Experimental) de la Universitat Jaume I, formando 60 mercados de 4 sujetos (20 mercados para cada tratamiento). Este número de sujetos por tratamiento nos permite contar con un número suficiente de observaciones independientes para poder realizar adecuadamente el posterior análisis estadístico-económico. En el cuadro 1 se presenta el número de sujetos participantes en cada tratamiento, descontando aquellos eliminados en el entrenamiento por sus malos resultados.

Las Figuras 2 a 5, en la página siguiente, incluyen capturas de pantalla del *software* programado en JAVA utilizado para recoger las estrategias de los participantes y el *feedback* informativo para recordárselas (2).

CUADRO 1
RESUMEN DE LOS TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES

Tratamiento	Servicio mínimo	Periodos	Sesiones	Sujetos
t0	NO	25	2	72
t1	SI (M1)	25	2	80
t2	SI (M2)	25	2	76

FUENTE: Elaboración propia.

Las rutas y tarifas óptimas calculadas por el algoritmo y las restricciones resultantes impuestas sobre los operadores en el experimento pueden consultarse en García-Gallego, Georgantzis y Sabater-Grande (2012) (3).

FIGURA 2
PANTALLA DE DECISIÓN PARA EL PROCESO DE SUBASTA



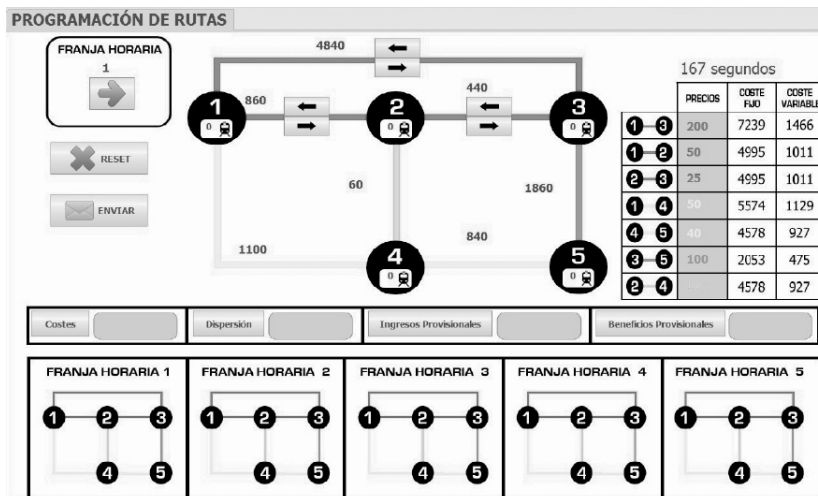
FUENTE:Elaboración propia.

FIGURA 3
PANTALLA DE INFORMACIÓN PARA EL PROCESO DE SUBASTA



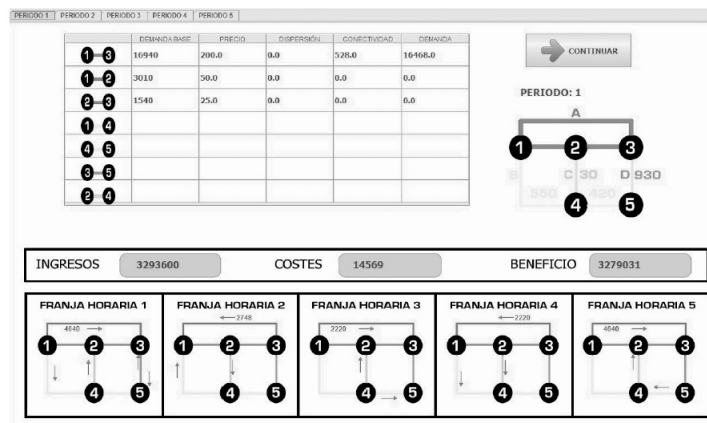
FUENTE:Elaboración propia.

FIGURA 4
PANTALLA DE DECISIÓN PARA LA PROGRAMACIÓN DE RUTAS



FUENTE:Elaboración propia.

FIGURA 5
PANTALLA DE INFORMACION PARA EL PROCESO DE SUBASTA



FUENTE:Elaboración propia.

CUADRO 2
COSTES FIJOS Y VARIABLES (CF, CV), EN MILES DE ECUS, POR RUTA UTILIZADA EN EL EXPERIMENTO

Ruta	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4	3-5
CF	4.995	7.239	5.574	4.995	4.578	2.053	4.578
CV	1.011	1.466	1.129	1.011	927	475	927

FUENTE: Elaboración propia.

Con respecto a la oferta, suponemos que los operadores incurren en un coste fijo (CF) de alquiler del tren que cubre los costes de circulación correspondientes, y en un coste variable (CV) asociado al volumen de pasajeros. En el cuadro 2 se presentan los valores experimentales de dichos costes.

RESULTADOS

Variables estratégicas

En esta sección analizamos las variables sobre las que deciden los sujetos experimentales a lo largo de la sesión: los precios mediante los que pujan por los derechos de uso en los que se divide la red ferroviaria y las rutas que deciden fijar una vez dichos derechos han sido asignados mediante subasta.

Precios. Existe una tendencia clara en todas las conexiones: un decrecimiento de los precios medios a medida que avanzan las rondas de las que consta cada sesión experimental. A continuación se comparan los precios medios generados a) entre rondas dentro de un mismo tratamiento y b) entre tratamientos de una misma ronda.

a) Diferencias entre rondas. Nuestro primer objetivo se centra en estudiar si los precios fijados por los operadores cambian significativamente a medida que avan-

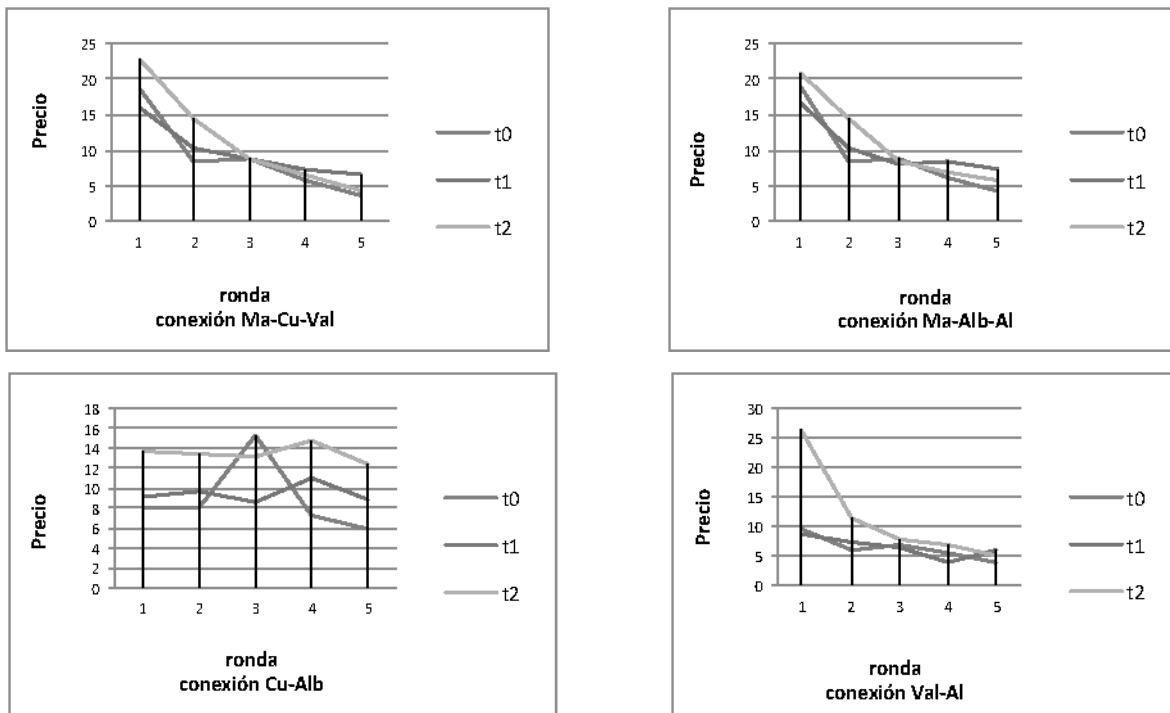
za la sesión experimental. Dado que el experimento consta de 5 rondas, los sujetos participan en 5 procesos de subasta mediante los que se asignan los derechos de uso. Los sujetos inician un proceso de aprendizaje a medida que se hacen con derechos, que explotan a lo largo de 5 periodos, programando trenes sobre las conexiones ganadas en la subasta. Dicho proceso permite a los operadores conocer con mayor precisión cuál es el rendimiento que pueden obtener para cada derecho adquirido, dependiendo de los precios comprometidos en la subasta.

La Figura 6, en la página siguiente, presenta los precios medios por ronda para cada una de las franquicias: la zona Madrid-Valencia, la zona Madrid-Alicante, la conexión Cuenca-Albacete y la conexión Valencia-Alicante. Como podemos observar, los precios decrecen de forma acusada ronda tras ronda en todas las conexiones con la excepción de la conexión menos rentable, Cuenca-Albacete, donde el decrecimiento es más suave.

Seguidamente, utilizamos un test de Wilcoxon para analizar si existen diferencias significativas entre los precios generados en cada ronda dentro de cada tratamiento (ver detalles en García-Gallego, Georgantzis y Sabater-Grande, 2012). En consecuencia, podemos concluir que:

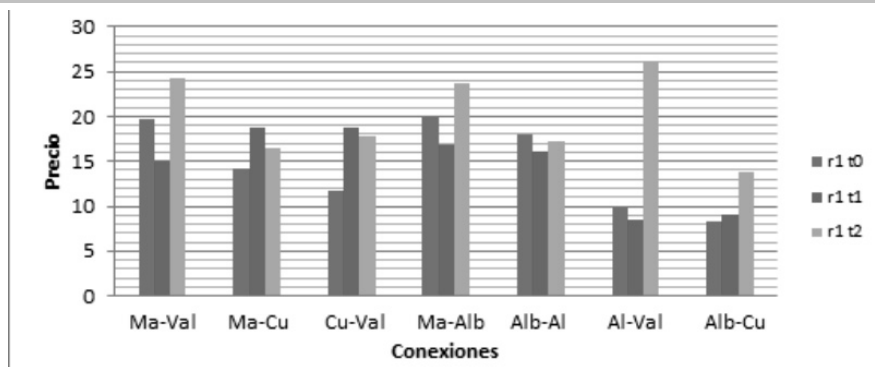
Resultado 1: El proceso de aprendizaje en la gestión de la red refuerza la competencia, originando un descenso de los precios.

FIGURA 6
PRECIOS MEDIOS POR RONDA Y TRATAMIENTO EN LAS DISTINTAS CONEXIONES



FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 7
COMPARACIÓN DE PRECIOS ENTRE CONEXIONES PARA CADA TRATAMIENTO EN LA RONDA 1



FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 8
COMPARACIÓN DE PRECIOS ENTRE CONEXIONES PARA CADA TRATAMIENTO EN LA RONDA 4

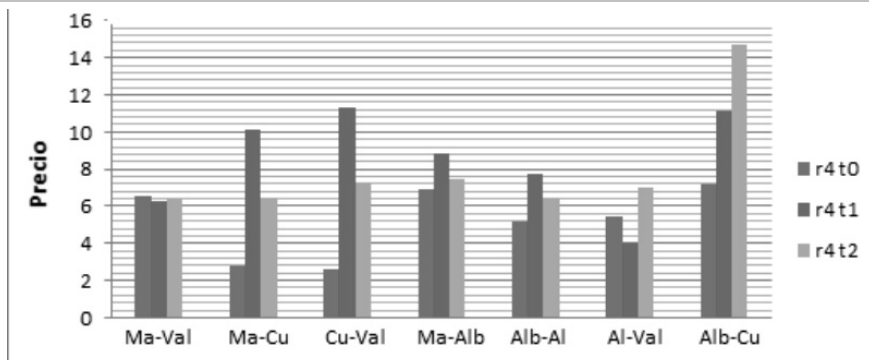
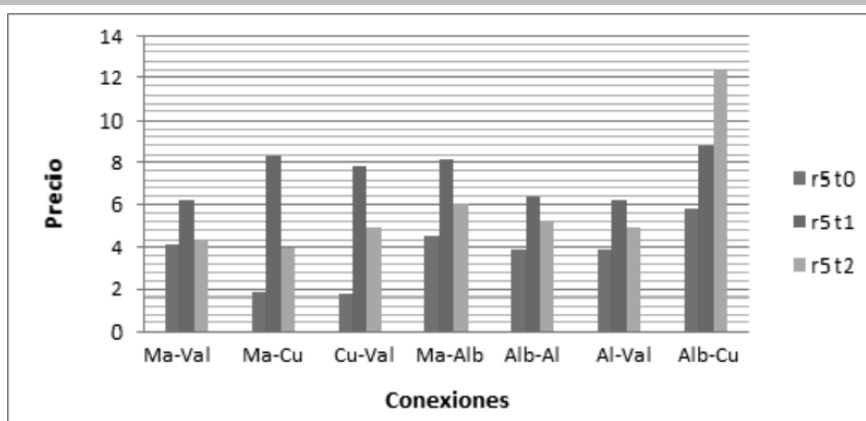


FIGURA 9
COMPARACIÓN DE PRECIOS ENTRE CONEXIONES PARA CADA TRATAMIENTO EN LA RONDA 5



FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 3
FRECUENCIA CON LA QUE CADA ESTRUCTURA DE MERCADO EMERGE EN T0 POR RONDA

t0	Monopolio	Duopolio	Triopolio	Tetrapolio
Ronda 1	6%	56%	39%	0%
Ronda 2	0%	44%	56%	0%
Ronda 3	6%	33%	50%	11%
Ronda 4	11%	39%	44%	6%
Ronda 5	11%	44%	44%	0%

FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 4
FRECUENCIA CON LA QUE CADA ESTRUCTURA DE MERCADO EMERGE EN T1 POR RONDA

t1	Monopolio	Duopolio	Triopolio	Tetrapolio
Ronda 1	11%	63%	26%	0%
Ronda 2	0%	65%	35%	0%
Ronda 3	16%	47%	32%	5%
Ronda 4	0%	50%	45%	5%
Ronda 5	15%	50%	35%	0%

FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 5
FRECUENCIA CON LA QUE CADA ESTRUCTURA DE MERCADO EMERGE EN T2 POR RONDA

t2	Monopolio	Duopolio	Triopolio	Tetrapolio
Ronda 1	11%	63%	16%	11%
Ronda 2	6%	56%	39%	0%
Ronda 3	0%	42%	58%	0%
Ronda 4	11%	42%	47%	0%
Ronda 5	5%	63%	32%	0%

FUENTE: Elaboración propia.

b) Diferencias entre tratamientos. A continuación, nos ocupamos de los efectos tratamiento sobre los precios. En concreto analizamos posibles diferencias entre precios provocadas por la imposición de un mínimo en la provisión de servicios de transporte. Las Figuras 7, 8 y 9 presentan los precios medios para los tres tratamientos a lo largo de las rondas 1, 4 y 5, respectivamente. Se observa una clara tendencia: en las conexiones Madrid-Cuenca y Cuenca-Valencia las diferencias entre los pre-

cios obtenidos en t0 y los obtenidos en t1 o t2 son, en general, crecientes con respecto al tiempo. En consecuencia, los sujetos parecen aprender sobre la rentabilidad de cada mercado a medida que la sesión avanza. Sin embargo, ello no parece posible en t1 y t2, en los que existe una restricción sobre la provisión del servicio. Basándonos en esta observación y en los resultados estadísticos podemos afirmar que:

Resultado 2: Los operadores repercuten el coste extra que se les impone debido a la restricción en la provisión del servicio motivando un incremento en los precios cuando se ven obligados a prestar unos mínimos servicios en las rutas menos rentables. Sin embargo, la imposición de mínimos en las rutas más rentables no afecta a los precios.

A continuación, nos centramos en la frecuencia con la que cada posible estructura de mercado emerge en nuestro experimento a través del proceso de subasta de los derechos de uso. Esta información se presenta en los cuadros 3 a 5. Se observa que el monopolio y el tetrapolio son las estructuras menos frecuentes. Se podría afirmar que los grados intermedios de competencia son los que se alcanzan el mayor número de veces.

Las Figuras 10 a 12, en páginas posteriores, presentan, respectivamente, esta información para los tratamientos t0, t1 y t2. Podemos resumir nuestros hallazgos en el siguiente resultado:

Resultado 3a: El proceso de aprendizaje no provoca diferencias en la estructura de mercado generada en la subasta.

Resultado 3b: La imposición de mínimos en la provisión del servicio no afecta a la estructura de mercado.

Las Figuras 13 a 16, en páginas posteriores, muestran los precios medios para cada tratamiento, por ruta. Si observamos los precios fijados en relación a cada estructura de mercado, podemos decir que los precios de mercado más bajos no se generan necesariamente en las estructuras de mercado más competitivas.

FIGURA 10
ESTRUCTURAS DE MERCADO GENERADAS EN T0, POR RONDA



Gris oscuro: Monopolio; Gris claro: Duopolio; Gris claro: Triopolio; Negro: tetrapollio

FUENTE: Elaboración propia.

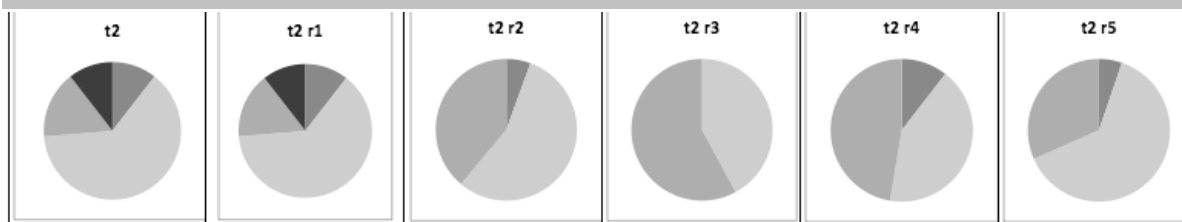
FIGURA 11
ESTRUCTURAS DE MERCADO GENERADAS EN T1, POR RONDA



Gris oscuro: Monopolio; Gris claro: Duopolio; Gris claro: Triopolio; Negro: tetrapollio

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 12
ESTRUCTURAS DE MERCADO GENERADAS EN T2, POR RONDA



Gris oscuro: Monopolio; Gris claro: Duopolio; Gris claro: Triopolio; Negro: tetrapollio

FUENTE: Elaboración propia.

Con respecto a la ruta Madrid-Cuenca-Valencia, la Figura 13 muestra que los precios tienden a aumentar bajo la imposición de mínimos. Algunos surcos horarios no pueden ser atendidos por los operadores sometidos a una restricción, lo que provoca un incremento en los precios. En cuanto a la ruta Madrid-Albacete-Alicante, la Figura 14 muestra que la imposición de un mínimo en la provisión del servicio no tiene un efecto claro en aquellas rutas más rentables. En relación a la ruta Cuenca-Albacete, se puede observar en la Figura 15 que la imposición de mínimos no tiene un efecto significativo sobre los precios. Finalmente, no se observa ningún efecto en la ruta Valencia-Alicante según se muestra en la Figura 16. Los resultados de la estadística no paramétrica demuestran la significatividad de estas pautas, lo que nos permite afirmar que:

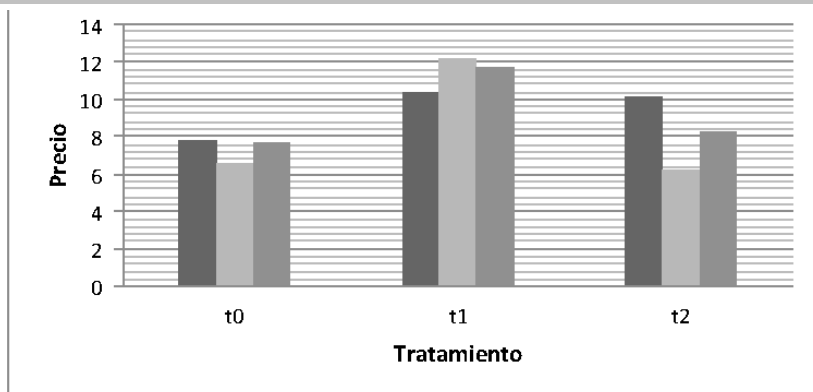
Resultado 4: Para un nivel de competencia dado (estructura de mercado), los operadores repercuten el coste extra impuesto a través de la imposición de mínimos (que les obliga a no poder atender rutas más

rentables en favor de rutas menos rentables) sobre el precio de las rutas menos rentables.

Rutas. En esta subsección se presenta la evidencia empírica obtenida en las rutas programadas por los operadores a través de la subasta de los derechos de uso. Para ello, calculamos el porcentaje de rutas programadas para cada conexión con respecto al número máximo posible de rutas a programar.

En general, los datos muestran que el porcentaje de las conexiones Madrid-Cuenca y Cuenca-Valencia decrecen a niveles cercanos a cero en el tratamiento t0. Ello es debido al hecho de que en t0 los operadores no tienen un mínimo que cubrir y, por tanto, el aprendizaje en la gestión de la red lleva a los sujetos a abandonar las rutas menos rentables en favor de aquellas más rentables (Madrid-Valencia). Para los tratamientos en los que un mínimo se impone sobre los operadores, se observa que el porcentaje de rutas incrementa para las conexiones en el área Madrid-Albacete-Alicante.

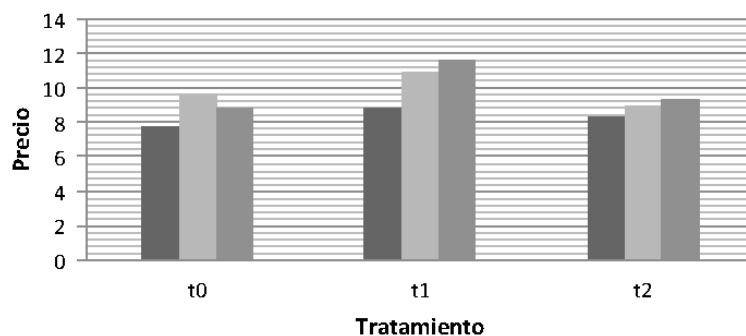
FIGURA 13
PRECIOS MEDIOS EN LA CONEXIÓN MA-CU-VAL



Negro: Monopolio; Gris claro: Duopolio; Gris oscuro: Triopolio

FUENTE: Elaboración propia.

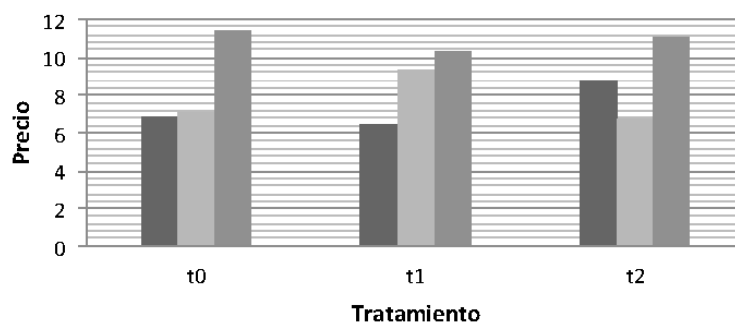
FIGURA 14
PRECIOS MEDIOS EN LA CONEXIÓN MA-ALB-AL



Gris oscuro: Monopolio; Gris claro: Duopolio; Gris: Triopolio

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 15
PRECIOS MEDIOS EN LA CONEXIÓN CU-ALB



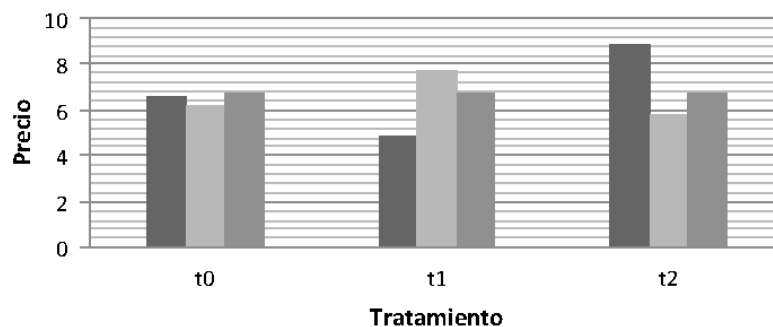
Gris oscuro: Monopolio; Gris claro: Duopolio; Gris: Triopolio

FUENTE: Elaboración propia.

La Figura 17, en la página siguiente, presenta, para cada tratamiento, el porcentaje de rutas programadas por ronda media. Las diferencias entre t0 y t1/t2 en las conexiones Madrid-Cuenca y Cuenca-Valencia son evidentes: las rutas menos rentables son sustituidas en favor de la ruta más rentable, Madrid-

Valencia. Adicionalmente, aunque rentable, la programación de rutas en el área Madrid-Albacete-Alicante se ve positivamente afectada por el mínimo impuesto. Estas observaciones, apoyadas por test no paramétricos, se resumen en el siguiente resultado:

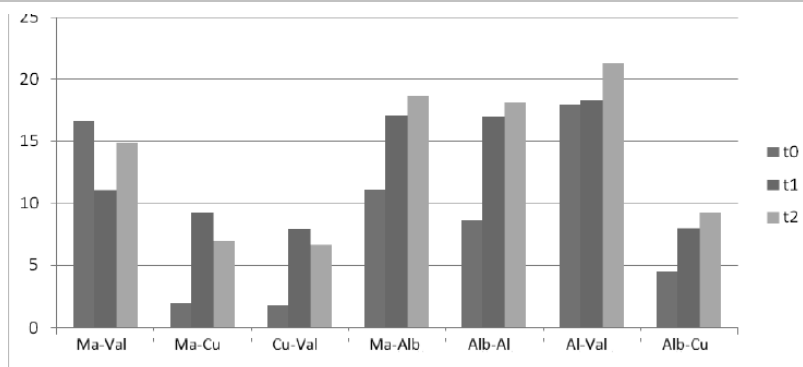
FIGURA 16
PRECIOS MEDIOS EN LA CONEXIÓN VAL-AL



Gris oscuro: Monopolio; Gris claro: Duopolio; Gris: Triopolio

FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 17
PORCENTAJE DE RUTAS PROGRAMADAS POR RONDA EN CADA CONEXIÓN Y TRATAMIENTO



FUENTE: Elaboración propia.

Resultado 5a: Una mayor experiencia en la gestión de la red no modifica la programación de las rutas si éstas son rentables. Por el contrario las rutas no rentables como Madrid-Cuenca y Cuenca-Valencia son sustituidas en favor de rutas más rentables como la ruta Madrid-Valencia cuando los operadores programan libremente sus rutas.

Resultado 5b: La imposición de mínimos es particularmente efectiva en incrementar significativamente el número de rutas programadas en aquellas conexiones menos rentables. Sin embargo, dicha imposición no afecta a las rutas más rentables.

Variables resultado ▼

En esta sección analizamos las siguientes variables resultado: (a) demanda final (representada por el número de viajeros para cada ruta), (b) conectividad generada en la red como componente básico de la demanda final, (c) excedente del viajero, (d) beneficios de los operadores ferroviarios y, (e) bienestar social.

Demanda final. Teniendo en cuenta la demanda final de viajeros para cada conexión por ronda y tratamiento así como la evolución de la demanda media para

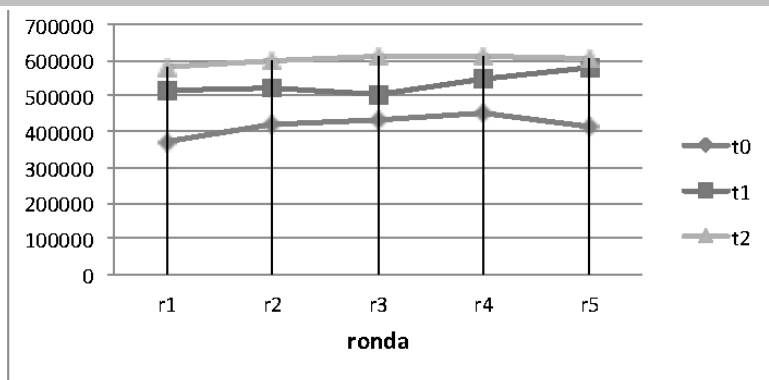
cada conexión a medida que avanza la sesión experimental (5), se observa un descenso en t0 de la cantidad media de pasajeros en las rutas menos rentables (Madrid-Cuenca y Cuenca-Valencia) en favor de la ruta más rentable (Madrid-Valencia). Por el contrario, cuando se impone un mínimo sobre la provisión del servicio, las rutas menos rentables mantienen una pauta estable de viajeros a lo largo de la sesión a causa de la mencionada restricción.

En cuanto al área Madrid-Albacete-Alicante, al contrario que en el caso anterior, los datos muestran una demanda final estable en t0 poniendo de manifiesto su rentabilidad, percibida por los operadores. Por otro lado, la imposición de un mínimo en la provisión del servicio causa un incremento en el número de pasajeros.

Asimismo, el mínimo en la provisión afecta a la conexión Cuenca-Albacete, de rentabilidad marginal, incrementando así el número de viajeros. Lo contrario se observa en la conexión Valencia-Alicante, que no se ve afectada por la imposición.

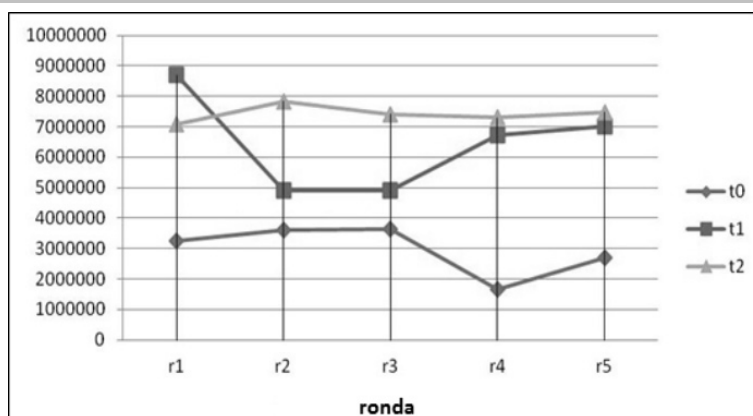
En la Figura 18, en la página siguiente, se muestran los efectos positivos de los servicios mínimos impuestos en la demanda final de la red ferroviaria global. El siguiente resultado resume las pautas observadas.

FIGURA 18
DEMANDA TOTAL MEDIA PARA LA RED



FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 19
CONECTIVIDAD MEDIA POR RONDA GENERADA EN CADA TRATAMIENTO



FUENTE: FUENTE: Elaboración propia.

Resultado 6a: La experiencia en la gestión de la red no afecta al número de viajeros en las rutas más rentables. Sin embargo, en las rutas menos rentables, dicha experiencia acentúa la diferencia entre el número de viajeros con y sin mínimo impuesto sobre la provisión del servicio.

Resultado 6b: La imposición de servicios mínimos incrementa significativamente el número de pasajeros para las rutas menos rentables. Sin embargo, dicha imposición no afecta al resto de las rutas.

Conectividad. En esta sección nos centramos en analizar uno de los componentes críticos de la demanda final: la conectividad generada en la red ferroviaria. La conectividad no es conocida en su totalidad por el operador en el momento de programar sus rutas a menos que sea un monopolista. Ello es así ya que la conectividad depende de rutas programadas por varios operadores que compiten entre ellos.

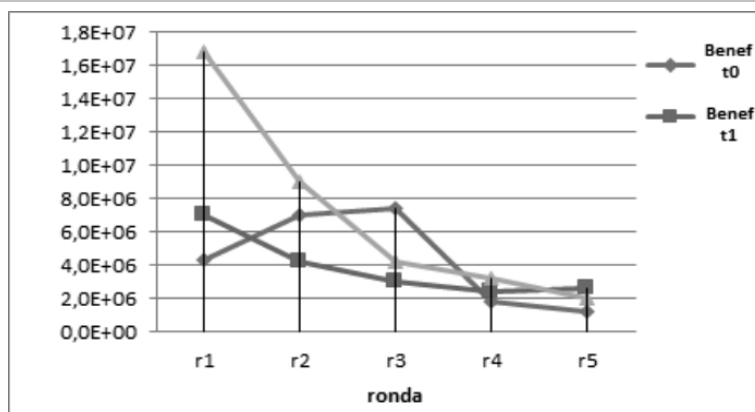
Como se muestra en la Figura 19, la conectividad generada en la red es mayor cuando los operadores se ven obligados a prestar unos servicios mínimos. Hay que llamar la atención sobre el hecho de que en todos los tratamientos los operadores desconocen, en el

momento de decidir sus rutas, las rutas programadas por el resto de operadores con los que compiten. Sin embargo, en t1 y t2 son conscientes de los correspondientes mínimos impuestos sobre la provisión del servicio. Dicha información es muy útil para los operadores a la hora de calcular de manera más precisa su posible demanda final. En este sentido, el mínimo impuesto dota de una masa crítica de tráfico que alimenta la conectividad de la red incrementando la demanda potencial y final. Esto nos lleva al siguiente resultado:

Resultado 7: La imposición de mínimos provoca una mayor conectividad en la red, incrementando la demanda total. Para satisfacer este incremento de demanda, los operadores programan un tráfico más denso que, a su vez, genera mayor conectividad, lo que afecta positivamente a la demanda total.

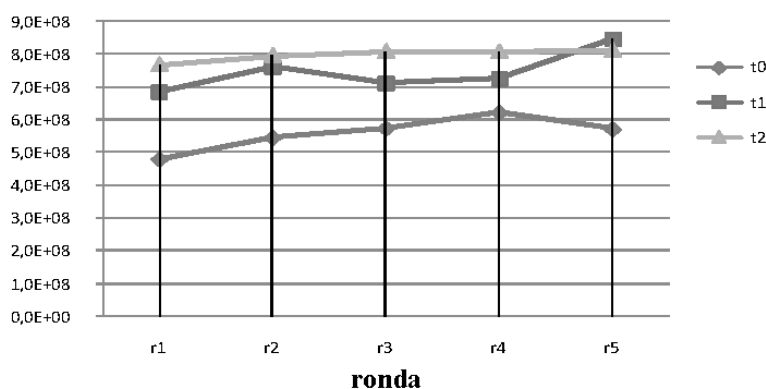
Beneficios. La figura 20, en la página siguiente, muestra los beneficios medios de los operadores por ronda en cada tratamiento implementado. Se puede observar un descenso acusado de dichos beneficios a medida que la sesión avanza, causado por un descenso en los precios generados en el proceso de subasta. Contra toda intuición, podemos ver que la imposición

FIGURA 20
BENEFICIOS MEDIOS DE LOS OPERADORES POR RONDA Y TRATAMIENTO



FUENTE: Elaboración propia.

FIGURA 21
EXCEDENYE MDIO DE LOS VIAJEROS, POR RONDA Y TRATAMIENTO



FUENTE: Elaboración propia.

de mínimos no disminuye los beneficios obtenidos por los operadores a pesar de obligarles a programar trenes sobre las rutas menos rentables. Ello es así ya que dicha obligación incrementa la demanda total gracias a la generación de una mayor conectividad en la red, más que compensando las pérdidas originadas por el descenso de precios. Podemos concluir que:

Resultado 8a: La tendencia negativa en los precios provocada por una mayor experiencia en la gestión de la red tiene un efecto negativo y significativo en los beneficios de los operadores.

Resultado 8b: Dado que la demanda total de la red incrementa con la imposición de mínimos gracias al aumento de la conectividad generada, dicha restricción no afecta negativamente a los beneficios de los operadores. Las pérdidas originadas por la obligación de prestar el servicio en rutas no rentables son más que compensadas por las ganancias originadas por el citado incremento de la demanda total.

Excedente del viajero. El excedente obtenido por los viajeros en cada ruta es mayor cuando los operado-

res se ven obligados a cumplir con los mínimos impuestos que cuando programan sus rutas de manera libre. Estas diferencias son especialmente significativas en el caso de rutas con una demanda base baja. En otro tipo de rutas los viajeros también se ven favorecidos al disfrutar de una red más densa e interconectada. En la figura 21 se puede comprobar cómo el excedente medio de los viajeros aumenta en toda la red cuando se impone un mínimo en la provisión del servicio.

Resultado 9: La imposición de mínimos en la provisión del servicio incrementa el excedente de los viajeros, especialmente en aquellas rutas menos rentables. Los viajeros de rutas más rentables también se ven beneficiados, gracias a una red con mayor densidad.

Bienestar social. Por último, analizamos el bienestar social como suma del excedente de los operadores y los viajeros. En García-Gallego, Georgantzis y Sabater-Grande (2012) se muestra el bienestar social medio generado en cada mercado por ronda, en función del tratamiento llevado a cabo. En este caso, el modelo teórico es parametrizado otorgándole un mayor peso al excedente de los viajeros que al beneficio de los ope-

radores. Por tanto, los resultados obtenidos para el excedente de los consumidores son generalmente replicados en esta sección.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis no paramétrico correspondientes a las comparaciones entre tratamientos del bienestar social medio por ronda, podemos inferir el siguiente resultado:

Resultado 10: La imposición de mínimos en la provisión del servicio consigue elevar el excedente de los viajeros y los beneficios de los operadores y, en consecuencia, el bienestar social. Ello es debido al incremento en la demanda total provocado por el aumento en la conectividad generado por dicha imposición.

CONCLUSIONES †

En este trabajo se ha analizado experimentalmente el efecto de la imposición de servicios mínimos en el uso de un cierto tramo de la red ferroviaria española y los precios resultantes. El resultado más destacado es que dicha restricción no solo incrementa el bienestar social, sino que, sorprendentemente, también incrementa los beneficios de los operadores. Ello es así ya que los operadores se ven obligados a constituir una red más densa, originando una demanda total mayor. Nuestros resultados apoyan el proceso de liberalización bajo el auspicio de un regulador que garantice la cobertura del servicio en las rutas menos rentables. De hecho, tal regulador, además de una institución favorecedora de los consumidores, podría verse como un instrumento de preservación de los beneficios de todo el sector como un todo.

Finalmente, la metodología empleada muestra cómo el uso de experimentos de laboratorio puede complementar aproximaciones más tradicionales basadas en datos del mundo real, simulaciones y algoritmos de optimización para ayudar en el proceso de toma de decisiones del legislador sobre la regulación de mercados de redes complejas, como el aquí estudiado.

(*) Esta investigación recibió apoyo financiero del NET Institute (NY). El proyecto OPTIRED, financiado por el entonces Ministerio de Ciencia e Innovación supuso el punto de partida de este trabajo. Todos los errores y opiniones son responsabilidad exclusiva de los autores.

NOTAS †

- [1] Hay que destacar el hecho de que las ciudades fueron codificadas con números en las sesiones experimentales para evitar consideraciones geopolíticas por parte de los sujetos. Los códigos son 1 (Madrid), 2 (Cuenca), 3 (Valencia), 4 (Albacete) y 5 (Alicante).
- [2] Las instrucciones detalladas del experimento están disponibles bajo petición a los autores.
- [3] Este documento de trabajo es una versión extensa del experimento aquí presentado. En él se pueden consultar detalles sobre datos específicos de precios medios, demanda, conectividad, beneficios y bienestar social, así como toda la esta-

dística no paramétrica en la que se basan nuestros resultados.

- [4] Un máximo de dos trenes pueden programarse para el calendario de cada conexión. Por lo tanto, el máximo número de trenes que se puede programar para cada período para una determinada conexión es 10. Ello implica que, para cada ronda (5 periodos) ese máximo es 50. El número total de trenes por conexión dividido por 50 y multiplicado por 100 constituye el porcentaje de trenes por ruta.
- [5] Ver detalles de datos y figuras para tramos específicos en García-Gallego, Georgantzis y Sabater-Grande (2012).

BIBLIOGRAFÍA †

- ABBINK, K.; IRLENBUSCH, B.; PEZANIS-CHRISTOU, P.; ROCKENBACH, B.; SADRIEH, A. y R. SELTEN (2005). «An experimental test of design alternatives for the British 3G/UMTS auction»- *European Economic Review*, nº 49, pp. 503-530.
- BORNDÖRFER, R.; GRÖTSCHEL, M.; LUKAC, S.; MITUSCH, K.; SCHLECHTE, T.; SCHULTZ, S. y TANNER, A. (2005). «An auctioning approach to railway slot allocation». *ZfB Technical Report ZR-05-45*.
- BREWSTER, P.J. y PLOTT, C.R. (1996). «A binary ascending price (BICAP) mechanism for the decentralized allocation of the right to use railroad tracks»- *International Journal of Industrial Organization*, nº 14, pp. 857-886.
- COX, J.C.; OFFERMAN, T.; OLSON, M.A. y SCHRAM, A. (2002). «Competition for versus on the rails: a laboratory experiment». *International Economic Review*, nº 43, pp. 709-736.
- FRIEDMAN, D. y SUNDER, S. (1994). *Experimental methods. A primer for economists*. Cambridge University Press.
- GARCÍA-GALLEGO, A.; GEORGANTZIS, N. y SABATER-GRANDE, G. (2012). «Service Provision on a Railway Network: A Laboratory Experiment, *NET Institute Working Paper*, nº 2012-14.
- GRETHER, D.M., ISAAC, R.M. y PLOTT, C.R. (1981). «The allocation of landing rights by unanimity among competitors». *American Economic Review*, nº 71, pp. 166-171.
- GRETHER, D.M.; ISAAC, R.M. y PLOTT, C.R. (1989). *The allocation of scarce resources: Experimental economics and the problem of allocating airport slots*. Westview Press, Boulder, CO.
- MCCABE, K.A.; RASSENTI, S. y SMITH, V.L. (1994). «Designing a real time computer assisted auction for natural gas networks». In W. Cooper and A. Whinston (eds.), *New Directions in Computational Economics*, Kluwer Academic Publishers, pp. 41-54.
- MURPHY, J.J.; DINAR, A.; HOWITT, R.E.; MASTRANGELO, E.; RASSENTI, S. y SMITH, V.L. (2006). «Mechanisms for addressing third-party impacts resulting from voluntary water transfers». In: J.A. List (Ed.), *Using experimental methods in environmental and resource economics*. Edward Elgar Publishing Ltd., Northampton, MA, pp. 91-112.
- MURPHY, J.J.; DINAR, A.; HOWITT, R.E.; RASSENTI, S. y SMITH, V.L. (2000). «The design of 'smart' water market institutions using laboratory experiments». *Environmental and Resource Economics*, nº 17, pp. 375-394.
- NILSSON, J.E. (1999). «Allocation of track capacity: Experimental evidence on the use of priority auctioning in the railway industry». *International Journal of Industrial Organization*, nº 17, pp. 1139-1162.
- NILSSON, J.E. (2002). «Towards a welfare enhancing process to manage railway infrastructure access»- *Transportation Research, A*, nº 36, pp. 419-36.
- ISSACSON, G. y Nilsson, J.E. (2003). «An experimental comparison of track allocation mechanisms in the railway industry». *Journal of Transport Economics and Policy*, nº 37, pp. 353-382.
- PARKES, D.C. y UNGAR, L.H. (2001). «An auction-based method for decentralized train scheduling». In *Proc. 5th International Conference on Autonomous Agents (Agents-01)*, pp. 43-50.
- RAMIREZ-ESCOBAR, C.; ALVAREZ-BEL, C. y GEORGANTZIS, N. (2011). «Controlling market power of vertically integrated firms in electricity networks: Demand response of aggregator agents». In *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), IEEE PES Conference on*, pp. 1-7.

RASSENTI, S.; SMITH, V.L. y WILSON, B.J. (2001). «Turning off the lights». *Regulation*, nº 24, pp. 70-76.

RASSENTI, S.; SMITH, V.L. y WILSON, B.J. (2002). «Using experiments to inform the privatization/deregulation movement in electricity». *The Cato Journal*, nº 21, pp. 515-544.

RASSENTI, S.; SMITH, V.L. y WILSON, B.J. (2003). «Controlling market power and price spikes in electricity networks: Demand-side bidding». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, nº 100, pp. 2998-3003.