

Eficiencia técnica y cambio productivo en el sector ferroviario español de vía ancha (1910-1922)

Isidoro Guzmán

Universidad Politécnica de Cartagena. Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales. Profesor titular de la Universidad Politécnica de Cartagena en el área de Conocimiento de Economía Financiera y Contabilidad. Correo electrónico: isidoro.guzman@upct.es

José Luis Montoya

Doctor en Administración y Dirección de Empresas. Auditor de cuentas. Diploma de Estudios Avanzados en Contabilidad y Finanzas. Investigador-colaborador del Programa de Historia Ferroviaria de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Correo electrónico: joseluis.montoya@sector3.es

TECHNICAL EFFICIENCY AND PRODUCTIVE CHANGE IN THE SPANISH WIDE GAUGE RAILROAD SECTOR (1910-1922)

ABSTRACT : This work looks at the performance of the broad gauge Spanish railroad sector by studying a sample of railroad companies during the period from 1910-1922, which at that time represented practically 97% of the national rail network. Using the DEA (Data Envelopment Analysis) methodology, the levels of efficiency and productive change were obtained along with an analysis of the reasons for their variation. The results lead to the conclusion that the average productivity increase during the period analyzed reached 1.6% per year, which, along with the different distribution of that change according to the diverse geographical regions in which the companies operated, could explain some of the corporate movements that occurred just a few years later.

KEYWORDS: railroad, efficiency, productive, Data Envelopment Analysis, Malmquist index.

EFFICACITÉ TECHNIQUE ET CHANGEMENT PRODUCTIF DANS LE SECTEUR FERROVIAIRE ESPAGNOL DE VOIE FERRÉE LARGE (1910-1922)

RÉSUMÉ : Ce travail analyse le rendement des Chemins de fer espagnols de voie ferrée large par l'étude d'un échantillon des compagnies ferroviaires durant la période 1910-1922, représentant pratiquement 97 % des voies du réseau national à cette époque. L'application de la méthodologie DEA (data envelopment analysis) a permis l'obtention de niveaux d'efficacité et de changement productif ainsi que l'analyse des causes de variation. Les résultats obtenus permettent de conclure que l'augmentation moyenne de la productivité durant la période analysée a atteint 1,6% annuel, ce qui, avec la distribution différente de cette variation en fonction des différentes régions géographiques dans lesquelles les compagnies ont prêté leurs services, pourrait expliquer certains mouvements corporatifs qui auraient lieu peu d'années après.

MOTS-CLEFS : chemins de fer, efficacité, productivité, analyse d'enveloppement de données (data envelopment analysis - DEA), indice de Malmquist.

EFICIÊNCIA TÉCNICA E MUDANÇA PRODUTIVA NO SETOR FERROVIÁRIO ESPANHOL DE VIA LARGA (1910-1922)

RESUMO: O presente trabalho investiga o rendimento da rede ferroviária espanhola de via larga mediante o estudo de uma amostra de companhias ferroviárias durante o período 1910-1922, que naquele momento representavam praticamente 97% do traçado da rede nacional. A partir da aplicação da metodologia DEA obtiveram-se os níveis de eficiência e mudança produtiva junto com a análise das causas de sua variação. Os resultados obtidos permitem concluir que o crescimento médio da produtividade durante o período analisado alcançou 1,6% anual, que juntamente com a distinta distribuição de tal variação em função das diferentes regiões geográficas nas que as companhias prestaram seus serviços, poderia explicar alguns dos movimentos corporativos que ocorreriam poucos anos depois.

PALAVRAS CHAVE: rede ferroviária, eficiência, produtividade, análise envolvente de dados, índice de Malmquist.

CLASIFICACIÓN JEL: C67, L92, N74.

RECIBIDO: octubre de 2009 APROBADO: noviembre de 2010

CORRESPONDENCIA: Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Economía Financiera y Contabilidad, Facultad de Ciencias de la Empresa, c/ Real, nº 3, (30201), Cartagena, España.

CITACIÓN: Guzmán, I. & Montoya, J.L. (2011). Eficiencia técnica y cambio productivo en el sector ferroviario español de vía ancha (1910-1922). *INNOVAR*, 21(40), 219-234.

RESUMEN: El presente trabajo investiga el rendimiento del ferrocarril español de vía ancha mediante el estudio de una muestra de compañías ferroviarias durante el periodo 1910-1922, que en aquel momento representaba prácticamente el 97% del trazado de la red nacional. A partir de la aplicación de la metodología DEA se obtuvieron los niveles de eficiencia y cambio productivo junto con el análisis de las causas de su variación. Los resultados obtenidos permiten concluir que el incremento medio de la productividad durante el periodo analizado alcanzó el 1,6% anual, que juntamente con el distinto reparto de dicha variación en función de las diferentes regiones geográficas en las que prestaron sus servicios las compañías, podría explicar algunos de los movimientos corporativos que sucederían pocos años después.

PALABRAS CLAVE: ferrocarril, eficiencia, productividad, análisis envolvente de datos, índice de Malmquist.

Introducción

Uno de los pilares fundamentales del proceso de cambio inducido por la Revolución Industrial está, sin duda, relacionado con el desarrollo del transporte como servicio capaz de poner las mercancías producidas en las fábricas a disposición de los mercados donde se consumían, lo que desembocó en la creación de una nueva tecnología de los transportes, en la que el ferrocarril y el barco de vapor se configuraron como piezas fundamentales para garantizar el desplazamiento de grandes cantidades de bienes a una velocidad que ningún otro sistema de transporte de la época (siglo XIX) era capaz de alcanzar.

La importancia del ferrocarril como medio de transporte en el entorno del fenómeno de la Revolución Industrial ha venido propiciando la publicación de multitud de estudios en todos los países industrializados sobre el sector ferroviario, hecho sobradamente justificado en el caso de España, puesto que el inicio de la revolución de los transportes a mediados del siglo XIX tuvo como elemento esencial la construcción de la red de ferrocarriles españoles, que contribuiría de manera decisiva al desarrollo económico del país, mostrándose como la opción más competitiva para atender el desplazamiento de personas y mercancías hasta la aparición del automóvil. En este

contexto, el presente trabajo analiza los niveles de eficiencia relativa por periodos anuales de las distintas compañías ferroviarias que a principios del siglo XX (1910-1922) operaban en España, así como su evolución en el tiempo mediante la evaluación de su cambio productivo, para tratar de discernir si los cambios producidos obedecieron a un mejor aprovechamiento de los recursos de las empresas o bien a un proceso de innovación tecnológica.

Para la medida de la eficiencia relativa se utilizó la técnica no paramétrica del análisis envolvente de datos (*Data Envelopment Analysis*, DEA) desarrollada a partir del trabajo seminal de Charnes, Cooper y Rhodes (1978), mientras que los niveles de cambio productivo se obtuvieron mediante el cálculo del índice de productividad total de los factores de Malmquist a partir del enfoque no paramétrico de Färe *et al.* (1994) basado en la metodología DEA antes citada.

El desarrollo del ferrocarril en España (1855-1922): el problema ferroviario

Los inicios del ferrocarril español

A mediados del siglo XIX, y finalizada definitivamente la crisis revolucionaria, el Estado español debía dedicar sus esfuerzos a tratar de incorporar el país a un proceso de industrialización iniciado en Inglaterra, y que posteriormente se había extendido al continente al finalizar las guerras napoleónicas.

Desde el punto de vista ferroviario, la década iniciada en 1840 conoció un importante desarrollo del sector en Europa, de tal modo que cuando concluye en España la guerra carlista, a mitad del siglo XIX, Inglaterra disponía de una red de casi 11.000 km, Francia de 3.000 km y Alemania de 6.000 km, en tanto que en la península no se había pasado de la concesión, sin resultados, de una línea de

Jerez al Puerto de Santa María en la zona sur del país. No obstante, a pesar de las dificultades iniciales, España fue el décimo país del mundo en inaugurar una línea ferroviaria, concretamente la de Barcelona a Mataró, en 1848, si bien con anterioridad existió desde 1837 la línea que unía La Habana y Güines en Cuba, que hasta 1898 fue colonia española.

Cronológicamente, el cuadro 1 muestra el desarrollo de la construcción en kilómetros de los ferrocarriles españoles, donde se puede apreciar que la longitud de vía férrea en explotación pasó de menos de 440 kilómetros en 1855 a 5.076 km en 1866, habiendo sido puntos de constante polémica entre los historiadores la urgencia en su construcción y la idoneidad de su trazado, en forma radial y con centro en Madrid.

Según Comín *et al.* (2002, p. 223) en 1869 aproximadamente un 60% del producto líquido invertido en la construcción de los ferrocarriles españoles era extranjero, si bien el capital autóctono consiguió llevar a cabo la puesta en marcha de algunas líneas, entre las que destacan las empresas ferroviarias catalanas, que construyeron una red de 723 kilómetros, además de tener una destacada participación en la financiación de compañías ferroviarias en otras regiones, como en la Compañía de los Ferrocarriles de Medina a Zamora y Orense a Vigo, y del Ferrocarril de Alcantarilla a Lorca (Wais, 1987, p. 316, Vol. I, y p. 26, Vol. II).

El problema ferroviario

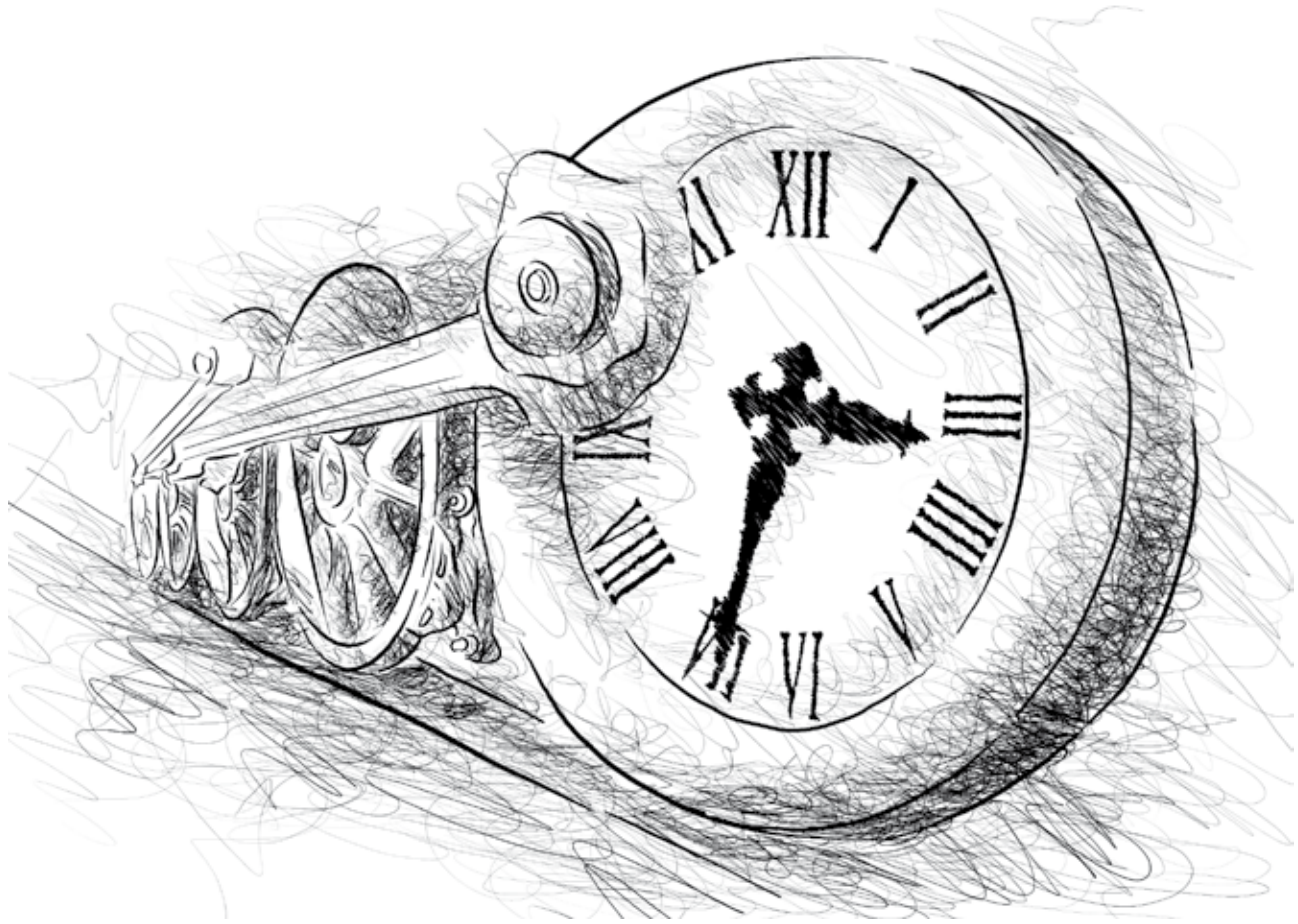
Después de prácticamente transcurrido medio siglo desde la iniciación del ferrocarril en España, durante el primer tercio del siglo XX se plantea la necesidad de una profunda reforma del régimen ferroviario establecido en 1855, ante la multitud de dificultades que de forma simultánea se acumulaban, que ponían en riesgo su futuro inmediato.

CUADRO 1. Desarrollo cronológico del ferrocarril en España.

Periodo	km	Descripción
1840-1855	440	Experimentación e iniciación al amparo de la Real Orden de 31 de diciembre de 1844, basada en el Informe Subercassee*.
1856-1865	5.000	Periodo de gran expansión bajo la Ley Ferroviaria de 1855. Tres cuartas partes de los recursos invertidos en infraestructuras se destinaron a ferrocarriles.
1866-1870	350	Crisis económica de 1866 e inestabilidad política del Sexenio Democrático: nueva Ley Ferroviaria de 1869 de carácter liberal.
1871-1896	5.300	Segunda expansión y concentración de compañías bajo la Ley de 1877, que imita a la inicial de 1855.
1897-1936	1.450	Terminación de la red: inicio del "problema ferroviario" y de los procesos de nacionalización.
Desde 1941	3.050	Nacionalización del ferrocarril en 1941: Renfe. Reconstrucción y electrificación bajo la consideración de la competencia de carretera y avión.
Total	15.600 km	

* El desarrollo de la red ferroviaria española vino precedido de un informe emitido en el año 1844 por una comisión de prestigiosos ingenieros de caminos, presididos por el inspector general D. Juan Subercassee, cuyo objetivo era realizar una propuesta al propio Gobierno para aprobar las condiciones generales bajo las cuales se habían de autorizar las empresas de los "caminos de hierro".

Fuente: elaboración propia a partir de Herranz (2008, p. 36) y de Bustelo (1994, p. 260).



Uno de los principales problemas estructurales de los ferrocarriles españoles se debía a que estos eran considerados un "servicio público" cuya provisión correspondía a las compañías privadas a través de concesiones administrativas, sistema que parecía por entonces inviable, ya que al acercarse la fecha del vencimiento de muchas de las concesiones, las compañías comenzaron a plantearse la necesidad de la fijación del precio de rescate por el que el Gobierno se debía quedar con la titularidad y explotación de las diferentes redes ferroviarias sujetas a concesión, situación que se tornaba compleja al tener que renovar el material ferroviario, ya que, como señalan Comín *et al.* (1998, Vol. I, p. 282), siendo las inversiones a muy largo plazo, las compañías no estaban dispuestas a invertir cuando se aproximaba el periodo de rescate, puesto que eran conscientes de que en el caso de realizar las inversiones requeridas para la renovación, era evidente la aparición de dificultades de financiación, puesto que ni entidades financieras ni particulares estaban dispuestos a prestar para dicha finalidad, a no ser que los créditos estuviesen avalados por el Estado, dado que era quien realmente debía responder de dichos pasivos después de la fecha de rescate.

Además, el régimen de concesiones administrativas planteaba un segundo problema relacionado con el estableci-

miento de las tarifas, ya que desde la emisión del informe Subercasse, que sirvió de base a la Real Orden de 2 de noviembre de 1844 y que derivó posteriormente en la Ley General Ferroviaria de 1855, el Estado se reservaba el establecimiento de la tarifa máxima aplicable (Olmedo, 2001).

En este aspecto, la legislación española de 1855 optó por fijar tarifas máximas por debajo del coste medio, asumiendo el Gobierno la obligación de subvencionar la diferencia para evitar pérdidas a las compañías ferroviarias, lo que permitió a estas rebajar sus tarifas ante la reducción de costes conseguida gracias al aumento de la dimensión de sus redes por las fusiones posteriores a 1870 (Comín *et al.*, 1998, Vol. I, p. 282), dejando por tanto sin efecto las tarifas máximas, por lo que no vieron restringida su política tarifaria (Herranz, 2008, p. 201).

Las tarifas aplicadas dependieron, pues, de la competencia y de que las compañías consideraran más o menos elástica la demanda del transporte ferroviario con relación al precio. En este aspecto, dos de las grandes compañías españolas adoptaron políticas divergentes, y así, los dirigentes de la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España mantuvieron la dudosa convicción de que tal demanda era inelástica, por lo que convenía a la empresa establecer tarifas muy elevadas con objeto de maximizar el

ingreso, mientras que los gestores de la Compañía de Madrid a Zaragoza y Alicante (MZA) adoptaron una política de precios más moderada. En todo caso, queda claro que las tarifas relativamente elevadas redujeron el alcance del ahorro social de los ferrocarriles y, por ende, sus efectos con respecto a la integración del mercado interior (Comín *et al.*, 2002, p. 226).

Dicho sistema funcionó hasta que durante la Primera Guerra Mundial los costes de producción crecieron aceleradamente, sin que los gobiernos españoles se hicieran eco de ello incrementando la tarifa máxima en la misma proporción, lo que obviamente desembocó en un aumento de las subvenciones del Estado y una mayor regulación e intervención de las compañías (Comín *et al.*, 1998, Vol. I, p. 282). En este sentido, entre los principales costes de explotación que influyeron de forma más notoria en el encarecimiento del servicio ferroviario destacan los de personal y combustible, asimilado este último al consumo de carbón como único elemento utilizado en la época para la tracción ferroviaria.

La Primera Guerra Mundial alcanzó escala continental entre agosto y septiembre de 1914. En un primer momento, la guerra hizo disminuir el transporte debido a la interrupción de las comunicaciones, pero posteriormente, una vez estabilizado el conflicto, la demanda de los países participantes en el mismo supuso un fuerte estímulo para la economía, reflejado en el incremento de la cartera de pedidos y en la consiguiente subida de los precios. La nueva coyuntura encontró al sistema ferroviario en situación difícil, ya que aunque en la última década del siglo anterior se había invertido en la renovación y mejora de la red, entre cuyos trabajos destaca la sustitución de los antiguos carriles de hierro por los de acero (Mas *et al.*, 1999, p. 44), no había sido suficiente como para poder asumir el incremento de la demanda exterior, viéndose las compañías ferroviarias abocadas a una total incapacidad para aumentar el volumen de mercancías transportadas. Cuando a la incapacidad de aumentar el tráfico se añadió la elevación del coste de la vida y del precio del carbón, las compañías se vieron en la más grave crisis de toda su existencia (Artola, 1978, pp. 409-410).

En 1917, dentro del II Congreso de Economía Nacional, fue abordada la problemática del transporte ferroviario, planteando las compañías por vez primera las condiciones imprescindibles que, a su entender, podrían garantizar su supervivencia, entre las que se encontraban la necesidad de extender la red y renovar el material ferroviario, siempre que el Estado prorrogase las concesiones y garantizase los intereses y amortizaciones respecto a los nuevos valores, así como la revisión al alza de las tarifas, y la rebaja del precio del carbón para las empresas de servicios públicos.

A comienzo de 1918, constituido el Gobierno nacional, se hace cargo de la cartera de Fomento D. Frances Cambó¹, ministro que realizaría una importante recopilación estadística publicada bajo el título de "Elementos para el estudio del problema ferroviario en España" (1918), en cuyo preámbulo afirmaba:

Y al hablar del problema ferroviario, no me refiero a su aspecto agudo, circunstancial y transitorio que ha provocado la guerra, sino al aspecto crónico y permanente que se producía antes de la guerra y que subsistirá después de ella... El gravísimo problema ferroviario español viene originado por dos errores capitales que presidieron el establecimiento de los ferrocarriles, no solo en España, sino en todos los países del mundo. Fue el primero, considerar que los ferrocarriles eran un negocio privado y no un servicio público; fue el segundo, suponer que una vez construida la línea, quedaba cerrado el capítulo de gastos de primer establecimiento.

Sin embargo, la situación descrita por el ministro Cambó se tornó si cabe más grave cuando en 1919 se establece la jornada de 8 horas, que venía a suponer para las compañías un nuevo y mayor incremento en sus gastos de explotación, además de un difícil problema de aplicación por la naturaleza del trabajo en el ferrocarril².

Según Artola (1978, p. 417), el trastorno económico causado por el conflicto internacional que el Estado pretendió ignorar en tanto duraron las hostilidades, forzó su intervención coincidiendo con el final de estas. El negocio se hacía inseguro en un momento en que el clamor por la renovación de material era más intenso y justificado en el país. Invertir sin garantías de obtener beneficios resultaba

¹ Frances Cambó i Batlle (Verges, 2 de septiembre de 1876; Argentina, 30 de abril de 1947) fue político, abogado y economista catalán conservador; ocupó la cartera de Fomento entre el 22 de marzo y el 9 de noviembre de 1918 en un gabinete presidido por D. Antonio Maura. Posteriormente volvió a ser ministro del Gobierno, ocupando en ese caso la cartera de Hacienda entre el 15 de agosto de 1921 y el 9 de marzo de 1922.

² Para calibrar el importante perjuicio causado por la nueva legislación laboral, baste indicar a título de ejemplo que supuso para la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España (Compañía Norte) un incremento de gastos de 18.000.000 de pesetas, mientras que para la Compañía de los Ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y Alicante (Compañía MZA) alcanzó la cifra de 22.500.000 de pesetas (Artola, 1978, p. 415). Si a esto se añade la orden dada a los ingenieros de las divisiones de ferrocarriles en cuanto al estudio de las necesidades de nuevo material, teniendo los concesionarios la obligación de realizar las correspondientes adquisiciones dentro del plazo que se les señalase, no es difícil hacerse cargo de la situación en que se encontraron las empresas al terminar el año 1919, momento en que por otra parte comenzaba a manifestarse el descenso del tráfico ferroviario como consecuencia de la finalización de la Primera Guerra Mundial.

poco atractivo, y por esta razón las compañías comenzaron a encontrar tremendamente cercano el vencimiento de las concesiones. En estos términos la situación era insalvable, y si el Gobierno no aceptaba la solución nacionalizadora, cualquiera que fuese el procedimiento, no cabría otra posibilidad que negociar con las compañías los términos en que estas aceptasen continuar con la explotación.

Los acontecimientos descritos provocaron que una vez finalizada la guerra civil española en 1939, se promulgara la Ley de 8 de mayo que procedía a sustituir a los órganos directivos de las principales compañías ferroviarias por un consejo directivo de naturaleza política. El propio texto de la norma declaraba las causas de esta nacionalización "de facto" por la vía de estatificar no la propiedad pero sí su explotación y gestión (Comín *et al.*, 1998, Vol. II, p. 14):

... los gastos producidos durante la guerra en los ferrocarriles españoles, sufragados en parte por las compañías y en otra aun mayor por el Estado, las aportaciones que desde el año 1924 ha venido haciendo este último por distintos conceptos; las importantes cantidades que se precisan para reparar y reponer los estragos producidos y el propósito de impulsar tan importante medio de transporte obligan a poner orden en el confusionismo que desde aquella fecha se está produciendo.

El proceso de nacionalización se ratificó poco después con la Ley de Bases de Ordenación Ferroviaria y de los Transportes por Carretera de 1941, que zanja definitivamente el llamado "problema ferroviario" mediante la creación de la Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (Renfe) a través del rescate de las compañías ferroviarias privadas de vía ancha (Muñoz, 1999, p. 300).

Metodología y datos

El concepto de eficiencia: el análisis envolvente de datos (DEA)

Como plantea Álvarez (2001), la comparación entre empresas según su comportamiento es de innegable interés para el análisis económico de cualquier región o sector, destacando especialmente en este aspecto los conceptos de eficiencia y productividad.

Para la determinación del rendimiento de un conjunto de unidades de decisión (*Decision Making Unit*, DMU) se pueden tener en cuenta dos tipos de metodologías (Parkan, 2002): los *modelos paramétricos* utilizan técnicas econométricas para estimar los parámetros de la frontera de eficiencia, considerando previamente una forma funcional que debe ser seleccionada a priori. A este primer enfoque se le pueden hacer dos críticas, cuales son la imposición de

una determinada forma funcional a la frontera, y la limitación de no poder realizar análisis con múltiples *outputs*. Los *modelos no paramétricos* realizan supuestos sobre las propiedades de la tecnología de producción que permiten definir, con el apoyo de los datos de actividad realmente observados, el conjunto de procesos productivos factibles con los que se delimita el conjunto de planes de producción realizables (Thanassoulis, 2001, pp. 1-20), por lo que mediante esta segunda aproximación no es necesario asumir una forma funcional concreta de la frontera, lo que representa una ventaja muy valiosa, puesto que desde el punto de vista productivo generalmente se desconoce la relación existente entre *outputs* e *inputs*.

De una comparación de los modelos descritos se advierte que la principal ventaja de la aproximación no paramétrica es su alto grado de flexibilidad, por cuanto se adapta fácilmente a entornos multiproducto y de ausencia de precios, aunque presenta el importante inconveniente de su carácter determinístico, que implica la interpretación de que cualquier desviación respecto a la frontera de eficiencia se atribuya a un comportamiento ineficiente de la DMU evaluada, lo cual dificulta conocer los valores reales de ineficiencia respecto a otros factores aleatorios que afectan al proceso productivo (Pastor, 1995). Adicionalmente, otro inconveniente a considerar es el de la homogeneidad de las unidades analizadas, pues se asume que tienen acceso y consumen los mismos tipos de entradas (*inputs*) y producen la misma clase de salidas (*outputs*), por lo que previamente deben detectarse aquellas unidades que tengan un comportamiento atípico, que deberían ser eliminadas.

Para la obtención de los niveles de eficiencia, en este trabajo se seleccionó la técnica no paramétrica determinística del análisis envolvente de datos (*Data Envelopment Analysis*, DEA), capaz de permitir el uso de algoritmos de programación lineal que determinan la frontera eficiente a partir de los datos suministrados por el proceso productivo. Dicha técnica calcula un ratio multidimensional que proporciona un ranking de puntuaciones, sin que sea necesario, como se ha señalado anteriormente, un conocimiento previo de la forma funcional de la función de producción. En otras palabras, se puede afirmar que la técnica DEA analiza organizaciones transformadoras de *inputs* en *outputs* según un determinado modelo de producción, de forma que a partir de los datos observados es posible trazar la denominada *frontera envolvente* sobre la que se encuentran las empresas consideradas eficientes. Para que la metodología propuesta tenga poder discriminatorio es necesario que el número total de elementos que componen la muestra (*n*) sea mayor que el total de variables (*inputs/outputs*) incluidos en el modelo,

sugiriéndose que el número de DMU evaluadas sea cuando menos tres veces superior al de variables incluidas en el modelo de eficiencia DEA (El-Magharly y Ladhelma, 1995).

Siguiendo el trabajo seminal de Charnes *et al.* (1978), que asume la hipótesis de rendimientos a escala constantes (modelo CCR o CRS), la formulación matemática del DEA en orientación *output* sería la siguiente:

$$\text{Máx } \varphi_z \quad (1)$$

s.a.:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ji} + S^i = x_{zi} \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\varphi_z y_{zr} - \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{jr} + S^0 = 0 \quad r = 1, \dots, s \quad (3)$$

$$\varphi_z \geq 0; \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

donde

- φ_z : índice de eficiencia de la DMU evaluada z
- x_{ji} : cantidad del i -ésimo *input* consumido por la DMU j .
- y_{jr} : cantidad del r -ésimo *output* producido por la DMU j .
- x_{zi} : cantidad del i -ésimo *input* consumido por la DMU evaluada z .
- y_{zr} : cantidad del r -ésimo *output* producido por la DMU evaluada z .
- λ_j : peso de la DMU j en la unidad virtual de referencia.
- S^0 ; S^i : holguras del modelo de programación lineal.

El modelo de programación lineal presentado en (1)-(4) debe ser resuelto para cada DMU, del tal manera que cada una de ellas pueda ser comparada con una combinación del resto de unidades que componen la muestra considerando el valor obtenido por la variable no negativa (λ), a fin de comprobar si la DMU virtual obtenida es capaz de alcanzar una cantidad mayor de *output* que la unidad evaluada para una consumo similar de *inputs*, considerando que si tal unidad virtual no cumple dicha condición, entonces la unidad examinada es calificada como "eficiente". El escalar (φ_z) representa la mayor expansión radial de todos los *outputs* producidos por la unidad evaluada, variando su rango entre 1 e ∞ , de forma que tomará valor unitario cuando la unidad sea eficiente, obteniendo valores superiores para el caso de unidades ineficientes. Su puntuación de eficiencia técnica (δ_z) con rango entre 0 y 1 vendrá dada por la inversa del valor del escalar φ_z ($\delta_z = 1/\varphi_z$).

En cuanto a las variables de holgura (S^0 ; S^i), matemáticamente permiten la eliminación de las desigualdades mos-

tradas en el modelo, aunque desde el punto de vista de producción expresan la variación puntual de una determinada variable del modelo de eficiencia, con independencia del aumento radial expresado por el escalar (φ_z) según la orientación aplicada.

Alternativamente a la formulación propuesta, es posible asumir rendimientos a escala variables siguiendo el modelo propuesto por Banker *et al.* (1984) (modelo BCC o VRS), el cual añade una restricción adicional ($\sum \lambda_j = 1$) al modelo planteado por Charnes *et al.* (1978), lo que permite calcular niveles de eficiencia considerando la escala de operaciones de las empresas eficientes respecto de la DMU evaluada en cada caso.

A partir del examen de los dos modelos CCR (CRS) y BCC (VRS) propuestos anteriormente surge el concepto de eficiencia de escala, que identifica el grado de optimización del nivel de eficiencia respecto a la escala de operaciones en la que podría estar operando la unidad evaluada, y que matemáticamente se puede expresar a través del ratio siguiente:

$$EE = \frac{ET_{CCR}}{ET_{BCC}} \quad (5)$$

Medida de cambio productivo: el índice de productividad total de los factores de Malmquist (IPTFM)

Desde el punto de vista cuantitativo, la productividad se corresponde con la razón entre la cantidad productos obtenidos respecto a los insumos aplicados. La medida del cambio productivo ha sido abordada mediante el cálculo de *números índices*, siendo los más utilizados los de Fisher (1922), Törnqvist (1936) y Malmquist (1953). Para el cálculo de los dos primeros, únicamente es necesario conocer los datos sobre cantidades de *outputs*, *inputs* y precios, mientras que para determinar el índice de Malmquist (IPTFM) se debe recurrir a la estimación de la tecnología subyacente, lo cual presenta las siguientes ventajas respecto a los primeros (Grifell y Lovell, 1995): i) no precisa del establecimiento previo de supuestos sobre el comportamiento de la unidad que se analiza, tales como la maximización de beneficios o la minimización de costes; ii) está basado en funciones de distancia, por lo que no se requieren precios de *inputs* u *outputs* en su construcción, y iii) permite su descomposición en determinados elementos que explican las causas fundamentales del cambio productivo.

Por tanto, el IPTFM es capaz de ahondar en las causas que provocan las variaciones en productividad por medio de su descomposición en cambio en eficiencia técnica (acercamiento a la frontera o *catching-up*) y cambio técnico (o

desplazamiento de la frontera), aunque su principal inconveniente estriba en la necesidad de calcular previamente la distancia, lo que requiere la estimación de una función de producción con carácter previo a obtener el resultado final (Grifell y Lovell, 1995), para lo cual se han utilizado hipótesis matemáticas paramétricas (Berger y Mester, 1999) y no paramétricas (Caves *et al.*, 1982; Färe *et al.*, 1994). En este sentido, siguiendo la metodología propuesta por Färe *et al.* (1994) en un contexto de funciones de producción bajo la aproximación no paramétrica DEA, la formulación del IPTFM asumiendo rendimientos a escala constantes (modelo CCR o CRS) bajo orientación *output* se puede expresar mediante la siguiente formulación matemática:

$$M_o(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \left[\frac{d_o^{t+1}(x_t, y_t)}{d_o^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{d_o^t(x_t, y_t)}{d_o^t(x_{t+1}, y_{t+1})} \right]^{1/2} \quad (6)$$

Un valor de M_o superior a la unidad evidencia un aumento de productividad desde el periodo t al periodo $t+1$, mientras que un valor inferior determina una disminución de dicha variable.

El IPTFM expresado en (6) puede, a su vez, desglosarse en los componentes de *cambio tecnológico* y *cambio en eficiencia técnica* en los términos siguientes:

$$M_o(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \left[\frac{d_o^t(x_t, y_t)}{d_o^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \right] \left[\frac{d_o^{t+1}(x_t, y_t)}{d_o^t(x_t, y_t)} \times \frac{d_o^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_o^t(x_{t+1}, y_{t+1})} \right]^{1/2} \quad (7)$$

En la expresión (7), el primer término se refiere al *cambio en eficiencia técnica*, y compara el movimiento relativo de la unidad analizada entre ambos periodos respecto de la frontera de eficiencia, mientras que el segundo término describe la variación de la frontera eficiente a lo largo del tiempo reflejando el *cambio tecnológico* del sector. Ambos índices pueden ser superiores, inferiores o iguales a 1. Así, un valor mayor que 1 en la variable de *cambio tecnológico* indicará la existencia de progreso técnico, mientras que un valor inferior identifica la existencia de una recepción tecnológica. Para el *cambio en eficiencia técnica*, valores superiores a 1 indican una mayor proximidad de las unidades evaluadas a la frontera respecto de los periodos analizados, mientras que valores por debajo de la unidad revelan un mayor distanciamiento (Thanassoulis, 2001, pp. 123-160).

En definitiva, el índice de Malmquist (IPTFM) es capaz de medir el cambio relativo en el *output* producido respecto del *input* consumido, permitiendo averiguar desde un punto de vista dinámico la medida del cambio productivo a

partir de los niveles de eficiencia entre dos o más periodos de tiempo.

Muestra y variables

Para analizar el rendimiento del ferrocarril español durante el periodo 1910-1922 se utilizó una muestra de 18 compañías ferroviarias de las 25 que operaban en España, habiendo tenido que renunciar al estudio del resto de empresas por no disponer de series completas de datos.

La elección del periodo de tiempo objeto de análisis (1910-1922), lejos de ser arbitraria, puede justificarse por diversas causas. Así, un primer aspecto a tener en cuenta es que al inicio del periodo mencionado la red ferroviaria estaba compuesta por más del 90% del total de kilómetros que en 1941 se integrarían en la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (Renfe) (Artola, 1978, p. 442), por lo que las compañías no centraban su atención en la expansión de sus líneas como en tiempo pretéritos, sino en la rentabilización de los servicios que prestaban.

Una segunda cuestión a considerar es la prolongada ausencia de procesos de fusiones y adquisiciones durante el mismo, que pudieran reducir el número de compañías incluidas en el trabajo empírico. Dichas operaciones fueron bastante frecuentes entre las compañías del sector, aunque respecto al periodo considerado, las últimas combinaciones de empresas de cierta relevancia se producen en 1898 (Wais, 1974, pp. 226 y 370), cuando la Compañía de los Ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y Alicante (MZA) adquiere su red en Cataluña al fusionarse con la Compañía de los Ferrocarriles de Tarragona a Barcelona y Francia, sin que posteriormente existan otros movimientos corporativos de importancia hasta el año 1923, fecha en que la Compañía de Ferrocarriles Andaluces absorbe a Ferrocarriles del Sur.

Finalmente, un tercer argumento es el relacionado con el destino de las inversiones practicadas durante dichos años, que suponen un importe equivalente a prácticamente el doble de la cantidad anual media invertida desde la creación del ferrocarril español (1855) hasta la constitución de la compañía Renfe (1941), las cuales se materializaron fundamentalmente en la conservación y reparación de las líneas en servicio mediante la ejecución de trabajos tales como el trazado de doble vía o la renovación de los antiguos carriles (Mas *et al.*, 1999, pp. 44-45), por lo que se puede afirmar que las nuevas inversiones se aplicaron de forma uniforme a la mejora de la explotación del negocio ferroviario y no a la expansión de la red, como había ocurrido hasta entonces.

A las evidencias históricas comentadas hay que añadir el notable aumento de la competencia en el sector del transporte al que se asiste en dicho periodo, por un lado promovida desde el Gobierno a través de los cambios legislativos impuestos por las leyes de julio de 1904 y marzo de 1907, que fomentaban la construcción de ferrocarriles secundarios garantizando las subvenciones del Estado como norma general (Comín *et al.*, 1998, p. 315), y cuyo atractivo radicaba en un menor ancho de vía (1 metro frente a 1,67 metros) con un consiguiente menor coste, y por otro, detectada por un claro incremento de la inversión en carreteras (Herranz, 2004, pp. 49-50), todo lo cual venía a repercutir negativamente en las compañías de ferrocarriles de vía ancha, pues mientras su red se encontraba estancada, la red de ferrocarriles de vía estrecha y la red de carreteras denotaban un continuo crecimiento. No en vano, ante la situación descrita, comienza a acuñarse en la segunda década del siglo XX el término "problema ferroviario" a raíz de la insuficiencia de recursos económicos que padecían las compañías del sector para atender sus nuevas necesidades de inversiones en instalaciones y materiales, así como en gastos salariales. Dicho problema, al que anteriormente ya se ha hecho referencia, tenía su origen en el desequilibrio entre las partidas de ingresos y gastos, las primeras estancadas, cuando no menguadas, y las segundas con un crecimiento en continuo ascenso, todo lo cual hacía que la explotación ferroviaria en esta época, que nunca fue considerada

como un gran negocio, caminara hacia la inviabilidad económica, lo cual obligaba a su cierre y desmantelamiento, situación que chocaba de plano con la imperiosa necesidad de mantener el servicio público insustituible en que se había convertido para entonces el ferrocarril (Cuéllar, 2007, pp. 42-47).

Además de las razones comentadas desde una perspectiva estrictamente histórica, desde el punto de vista metodológico se justifica el periodo temporal seleccionado por la posibilidad que ofrece de desarrollar el análisis de rendimientos pretendido al tener en explotación un número elevado de compañías, que en años sucesivos iría disminuyendo fruto de la concentración en el sector, hasta que en 1941 la mayoría de las empresas se integrasen en Renfe.

El cuadro 2 contiene el listado de las empresas que componen la muestra objeto de estudio, ordenadas por volumen de red en servicio, donde se puede observar que de las 18 compañías incluidas, tres de ellas (Norte, MZA y Andaluces) presentaban las redes más extensas, superior en todos los casos a 1.000 km y equivalente al 76,3% del total a nivel nacional, detentando las dos mayores (Norte y MZA) el 65,4%; constatándose, además, que dichas empresas eran también las más antiguas, seguidas por Triano, que paradójicamente era la empresa con una menor dimensión de red (13 km). Por otra parte, siete compañías mantenían en servicio redes entre los 100 y 1.000 km,

CUADRO 2. Muestra de compañías ferroviarias de vía ancha (periodo 1910-1922).

Nombre de la compañía	Abreviatura	km	%	Antigüedad	Años(*)
Cía. de los Caminos de Hierro del Norte de España	NORTE	3.684	32,81%	1.858	64
Cía. de los Ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y Alicante	MZA	3.657	32,57%	1.856	66
Cía. de los Ferrocarriles Andaluces	ANDALUCES	1.226	10,92%	1.877	45
Sdad. de los Ferrocarriles de Madrid a Cáceres y Portugal	MCPO	777	6,92%	1.894	28
Cía. de los Caminos de Hierro del Sur de España	SUR	363	3,23%	1.888	34
Cía. del Ferrocarril Central de Aragón	C ARAGON	299	2,66%	1.894	28
Cía. del Ferrocarril de Medina del Campo a Zamora y de Orense a Vigo	MZOV	298	2,65%	1.881	41
Cía. del Ferrocarril de Salamanca a la Frontera de Portugal	SFP	203	1,81%	1.886	36
Cía. de los Ferrocarriles de Zafra a Huelva	ZH	179	1,59%	1.884	38
Cía. de los Ferrocarriles de Lorca a Baza y a Águilas	LBA	168	1,50%	1.887	35
Cía. del Ferrocarril de Torralba a Soría	TS	94	0,84%	1.887	35
Cía. del Ferrocarril de Medina del Campo a Salamanca	MCS	77	0,69%	1.871	51
Cía. del Ferrocarril de Pontevedra a Santiago	PCS	73	0,65%	1.863	59
Sdad. del Ferrocarril de Alcantarilla a Lorca	AL	55	0,49%	1.876	46
Sdad. de los Ferrocarriles de Valencia y Aragón	VA	31	0,28%	1.889	33
Cía. del Ferrocarril de Bilbao a Portugalete	PORTUG	17	0,15%	1.884	38
Cía. de Ferrocarriles y Tranvías de Mollet a Caldas de Mon.	MCA	15	0,13%	1.901	21
Diputación Provincial de Vizcaya (Triano a la Ría de Bilbao)	TRIANO	13	0,12%	1.859	63
Totales		11.229	100,00%	Media	42

Fuente: elaboración propia. (*) antigüedad computada hasta 1922.

mientras que otras ocho operaban con una red inferior a los 100 km.

Para la medida de la eficiencia, la selección de variables se presenta como uno de los principales problemas de cualquier unidad de decisión, restringido en este caso al sector de las compañías ferroviarias. En este sentido, con base en estudios recientes que han tratado el rendimiento de los ferrocarriles tanto a nivel nacional como internacional (Affuso *et al.*, 2002, pp. 1-21), se encontró evidencia sobre diversos modelos de rendimiento, a partir de los cuales se planteó la selección de las variables para implementar en el diseño del modelo de eficiencia, si bien bajo la importante restricción de la disposición de datos de tipo histórico. El cuadro 3 recoge las variables del modelo formado por un solo *output* y cuatro *inputs*, cuya justificación se expone a continuación:

CUADRO 3. Variables del modelo de eficiencia DEA.

<i>Output</i> =	Ingresos por transporte de viajeros y mercancías
<i>Inputs</i> =	Potencia total disponible (Hp)
	Número de asientos disponibles para viajeros
	Capacidad disponible para transporte de mercancías (Tm)
	Kilómetros recorridos

Fuente: elaboración propia.

Como *output* se seleccionó la variable compuesta por la suma de los ingresos obtenidos por transporte de viajeros y mercancías, opción tomada sobre otras posibles variables alternativas, tales como el número de viajeros o las toneladas de mercancías transportadas, debido a que la variable elegida incorpora, además de la información recogida por estas últimas, el precio del trayecto efectuado o la distancia recorrida.

En cuanto a los *inputs*, la selección de las dos primeras variables descritas obedece a que, por un lado, representan la capacidad real de transporte de cada compañía (pasajeros/mercancías), a las que habría que añadir la potencia de las locomotoras, ya que sin tener en cuenta el factor orográfico, una mayor potencia indicaría más capacidad de arrastre de vagones. Cabe puntualizar, además, que se ha considerado tanto el transporte de personas como de mercancías, dado que determinadas compañías eran más intensivas en un tipo de servicio que en otro, pues en algunas de ellas el transporte de personas sólo representaba un 4,3% del total frente al 52,1% de otras. Además, la inclusión de la variable relativa a la distancia recorrida responde a la necesidad de homogeneizar a las compañías de carácter más local con trayectos más cortos, con relación a otras de carácter interprovincial o nacional.

CUADRO 4. Variables del modelo de eficiencia (periodo 1910-1922).

Compañía	Ingresos totales	Potencia total (HP)	Nº Total asientos	Capacidad total (TM)	km recorridos
NORTE	194.388.204	544.270	78.740	271.148	22.402.760
MZA	174.052.129	656.925	60.165	184.259	20.330.793
ANDALUCES	36.919.983	110.912	23.319	49.240	4.806.168
MCP y O	13.734.210	55.140	6.311	16.612	2.594.385
SUR	6.492.604	16.332	2.179	12.466	1.065.672
CARGON	5.697.936	14.292	2.750	3.753	961.158
MZOV	5.780.799	16.610	4.535	5.598	790.033
SFP	1.369.076	8.967	1.387	2.450	368.239
ZH	3.593.284	6.666	2.547	7.160	535.566
LBA	3.685.795	10.597	2.450	8.864	524.579
TSOR.	379.738	2.553	668	908	105.192
MCS	1.744.636	3.659	1.031	1.803	216.989
PCS	1.080.181	4.084	1.735	1.086	161.440
AL	892.797	1.558	929	940	97.994
VA	411.169	362	671	1.549	100.340
PORTUG	1.937.348	1.905	2.029	3.018	293.706
MCA	186.157	1.073	126	169	44.429
TRIANO	1.406.038	4.414	510	2.754	158.320
Media	25.208.449	81.129	10.671	31.877	3.086.542
Desv. típica	60.023.710	189.790	21.769	73.356	6.643.206
Máximo	291.496.025	805.240	86.658	363.375	24.715.135
Mínimo	114.979	90	126	70	40.989

Fuente: elaboración propia.

El cuadro 4 recopila los estadísticos descriptivos de las variables incluidas en el modelo de eficiencia. Los datos seleccionados proceden de las siguientes fuentes bibliográficas: *Estadística de las Obras Públicas en España: Ferrocarriles y Tranvías (1910-1922)*; *Anuarios Estadísticos de España (1915-1920)* y *Elementos para el estudio del problema ferroviario en España (Cambó y Batlle, 1918)*.

Resultados del estudio empírico

Medida de la eficiencia

Para determinar los niveles de rendimiento se calcularon las puntuaciones de eficiencia DEA a partir de la doble hipótesis de rendimientos a escala constantes y variables (modelos CCR y BCC) en orientación *output* para los años 1910, 1913, 1916, 1919 y 1922, así como la eficiencia de escala.

CUADRO 5. Puntuaciones de eficiencia DEA (modelo BCC).

Compañías	1910	1913	1916	1919	1922
MZA	1	1	1	1	1
NORTE	1	1	1	1	1
ANDALUCES	0,933	0,987	0,892	1	0,992
MCPO	0,680	0,743	0,718	0,838	0,869
SUR	0,937	1	1	1	1
C ARAGON	0,607	1	1	1	1
MZOV	0,737	1	0,766	0,969	0,817
SFP	0,426	0,671	0,45	0,479	0,431
ZH	1	1	1	0,750	0,740
LBA	0,596	0,9	0,859	0,888	0,882
TS.	0,425	0,709	0,882	0,423	0,472
MCS	1	0,940	0,849	1	1
PCS	0,529	1	0,704	0,832	0,691
AL	0,682	0,842	1	1	1
VA	1	1	1	1	1
PORTUG	0,918	1	1	1	1
MCA	1	1	1	1	1
TRIANO	1	1	1	0,622	0,638
Nº Eficientes	7	11	10	10	9
% Eficientes	39%	61%	56%	56%	50%
Media aritmética	0,804	0,933	0,896	0,878	0,863

Fuente: elaboración propia.

El cuadro 5 muestra los resultados obtenidos por compañía y año, así como los valores medios y el número de entidades eficientes, pudiendo apreciarse que en el año 1910 la eficiencia media de las compañías ferroviarias españolas de vía ancha era de 0,804, lo que considerando la orientación *output* del modelo indica que podrían haber alcanzado un incremento de los ingresos del 24,37% con el mismo consumo de recursos, evidenciándose una cierta mejoría de su rendimiento al finalizar el periodo objeto de estudio, puesto que en el año 1922 dicho porcentaje de ineficiencia desciende hasta el 15,87%. Desde un punto de vista

temporal, es posible apreciar un importante incremento de la eficiencia entre los años 1910-1913, con una posterior suave tendencia de caída hasta el año 1922, si bien el incremento acumulado del periodo (1910-1922) en términos de eficiencia pura (modelo BCC) es del 5,9%. En este sentido, también cabe destacar que el número de empresas eficientes por año aumenta, pasando de siete compañías en 1910 (39%) a nueve en 1922 (50%), observándose que tan solo dos compañías (Zafra-Huelva y Triano) no experimentan mejoras en sus rendimientos.

Para la evaluación de los resultados por regiones, se establecieron cinco grupos de acuerdo con el ámbito geográfico de explotación de las diferentes compañías: a) compañías nacionales, b) compañías del Este (Valencia, Cataluña y Aragón), c) compañías del Sur (Murcia y Andalucía), d) compañías del Oeste (Extremadura, Castilla-León y Galicia), y e) compañías del Cantábrico (País Vasco). El cuadro 6 recoge la distribución de las empresas de la muestra según las zonas geográficas expuestas:

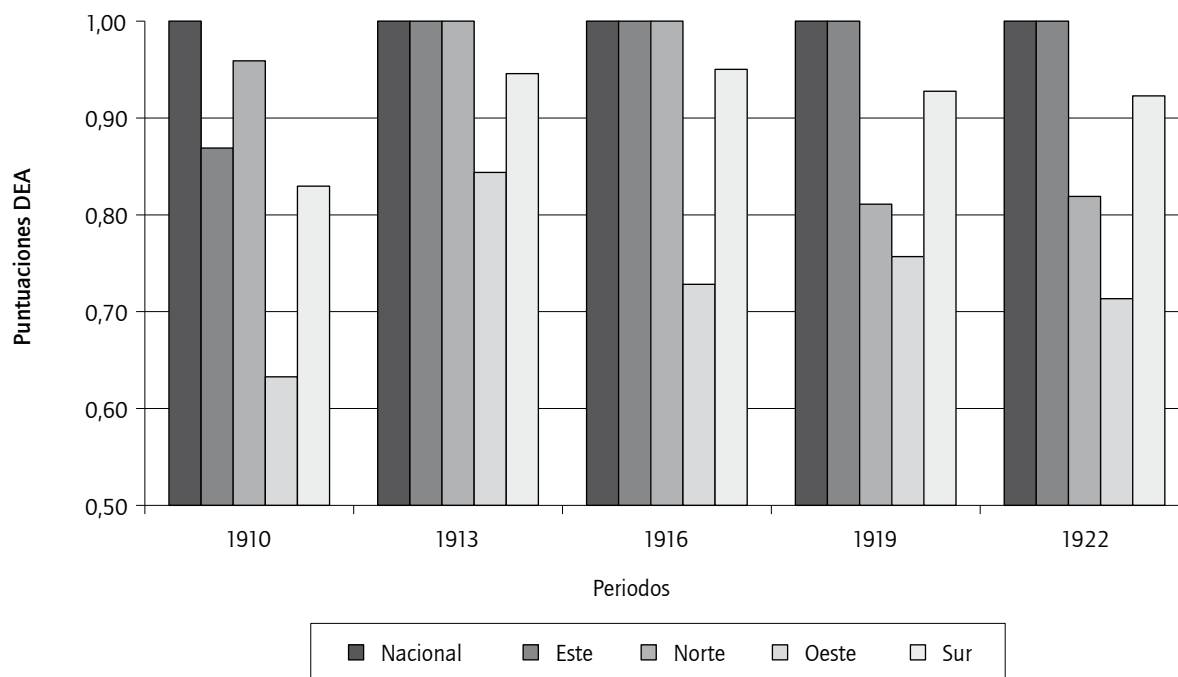
CUADRO 6. Distribución de las compañías de la muestra por zona geográfica.

Zona geográfica	Compañías
NACIONAL	MZA, NORTE
NORTE	PORTUG, TRIANO
SUR	ANDALUCES, SUR, ZH, LBA, AL
ESTE	C ARAGON, VA, MCA
OESTE	TS, MCPO, MZOV, SFP, MCS, PCS

Fuente: elaboración propia.

El gráfico 1 muestra, en valores medios, los niveles de rendimiento alcanzados en el periodo temporal objeto de estudio, donde se puede apreciar que las empresas con trazado nacional (Norte y MZA) son eficientes en todos los años analizados, alcanzando las compañías de las zonas Norte, Este y Sur niveles medios de eficiencia por encima del 91%, mientras que las compañías de la zona Oeste tan solo obtienen un nivel del 74%. En este aspecto, si se tiene presente el rendimiento de todas las compañías, exceptuando las de la zona Oeste, la eficiencia media llega a alcanzar el 94%, 20 puntos porcentuales respecto de la demarcación geográfica excluida, situación que desembocaría unos años más tarde (1928) en la incautación por parte del Estado de cinco (excepto la compañía Torralba a Soria) de las seis empresas incluidas dentro de la zona Oeste. La situación económica de dichas empresas fue en esos momentos tan extremadamente difícil, que hasta se llegó a temer por la seguridad de los viajeros debido a la falta de servicios de mantenimiento de vías, naciendo así la Compañía Nacional de los Ferrocarriles del Oeste, compuesta en un 88% por las cinco compañías mencionadas.

GRÁFICO 1. Puntuaciones de eficiencia por regiones (valores medios).



Fuente: elaboración propia.

De un examen más exhaustivo de los resultados presentados se pueden extraer adicionalmente las siguientes consideraciones. Analizados los índices de eficiencia respecto al porcentaje de ingresos por transporte de viajeros (cuadro 7) se constata que las compañías más eficientes son las que obtenían como mínimo dos tercios de sus ingresos por transporte de mercancías. Así, las seis empresas que alcanzan mayores ingresos por transporte de personas resultan ser por término medio 14 puntos porcentuales menos eficientes que las que obtienen ingresos por dicho concepto en un porcentaje igual o menor al 36% de sus ingresos totales.

CUADRO 7. Distribución de la eficiencia en función de los ingresos por viajeros.

% de ingresos por viajeros	n.º compañías	Eficiencia media
0 a 36%	12	92%
37% a 100%	6	78%

Fuente: elaboración propia.

Si se segmenta la muestra en función de la frecuencia de los trayectos (cuadro 8), medida esta como el total de kilómetros realizados por cada compañía entre la longitud de la red y dividido por 365 días, se constata que las empresas que ofrecen mayor frecuencia en sus recorridos obtienen mejores rendimientos. Así, se observa que si la frecuencia es de más de ocho trayectos al día, estas compañías son de media 17 puntos porcentuales más eficientes que las que efectúan un número de trayectos inferior.

CUADRO 8. Distribución de la eficiencia en función del número de trayectos por día.

Frecuencia de los trayectos	n.º compañías	Eficiencia media
Hasta 7 al día	5	72%
Más de 8 al día	13	94%

Fuente: elaboración propia.

Si se evalúan los niveles de eficiencia en función de la longitud de la red de cada compañía (cuadro 9), se observa que alcanzan niveles de rendimiento superiores las empresas con fuerte carácter local y longitud de red escasa, así como las compañías con más kilómetros de vías, quedando las empresas con un desarrollo de red intermedio con niveles de eficiencia bastante inferiores, con disminuciones de prácticamente 19 puntos porcentuales.

CUADRO 9. Distribución de la eficiencia en función de la longitud de la red.

Longitud de la red	n.º compañías	Eficiencia media
De 0 a 70 km	5	95%
De 70 a 250 km	6	75%
Más de 250 km.	7	93%

Fuente: elaboración propia.

En resumen, de acuerdo con los razonamientos que anteceden, se podría concluir que las empresas ferroviarias más eficientes fueron aquellas que se dedicaron más intensivamente al transporte de mercancías, con una frecuencia

de más de ocho trayectos completos al día, y que solían ofrecer servicios concretos entre dos puntos cercanos, o bien disponían de una red de más de 300 kilómetros de longitud.

Medida del cambio productivo

El cálculo de los índices de eficiencia no resulta adecuado cuando se desea conocer el rendimiento de un conjunto de unidades de decisión a lo largo del tiempo, ya que estos no ofrecen información sobre los cambios que pueden afectar a la frontera de eficiencia como consecuencia del cambio tecnológico.

Para solucionar este problema, siguiendo a Färe *et al.* (1994), se obtuvieron los índices de productividad de Malmquist (IPTFM) y su descomposición en cambio técnico y cambio en eficiencia, utilizando una doble modelización: en el modelo 1 se determinaron dichos índices para cada uno de los periodos adyacentes anuales que forman el horizonte temporal objeto de estudio, calculándose posteriormente la media geométrica de dichos valores al resultar más indicada que la media aritmética por tratarse de índices de crecimiento. A través del modelo 2 se recalcularon dichos índices, pero considerando en este caso únicamente

los datos de los años inicial (1910) y final (1922) del periodo temporal evaluado. La principal diferencia entre ambos modelos radica en que el primero ofrece un resultado medio a través del cómputo de los cambios en productividad para variaciones anuales, mientras que el segundo permite conocer la variación conjunta de todo el periodo de tiempo analizado.

Los resultados obtenidos se exhiben en el cuadro 10, donde es posible constatar que aplicando el modelo 1, la productividad media anual de las compañías ferroviarias aumentó un +1,6%, incremento que fue debido fundamentalmente a una variación positiva del +3% en el cambio en eficiencia técnica, lo cual indica que las empresas alcanzaron un mejor posicionamiento respecto a las respectivas fronteras de eficiencia en los diversos periodos considerados; sin embargo, el cambio tecnológico experimentó un descenso del -1,3%, lo cual pone de manifiesto una disminución del rendimiento de las compañías más eficientes del sector en el periodo de estudio.

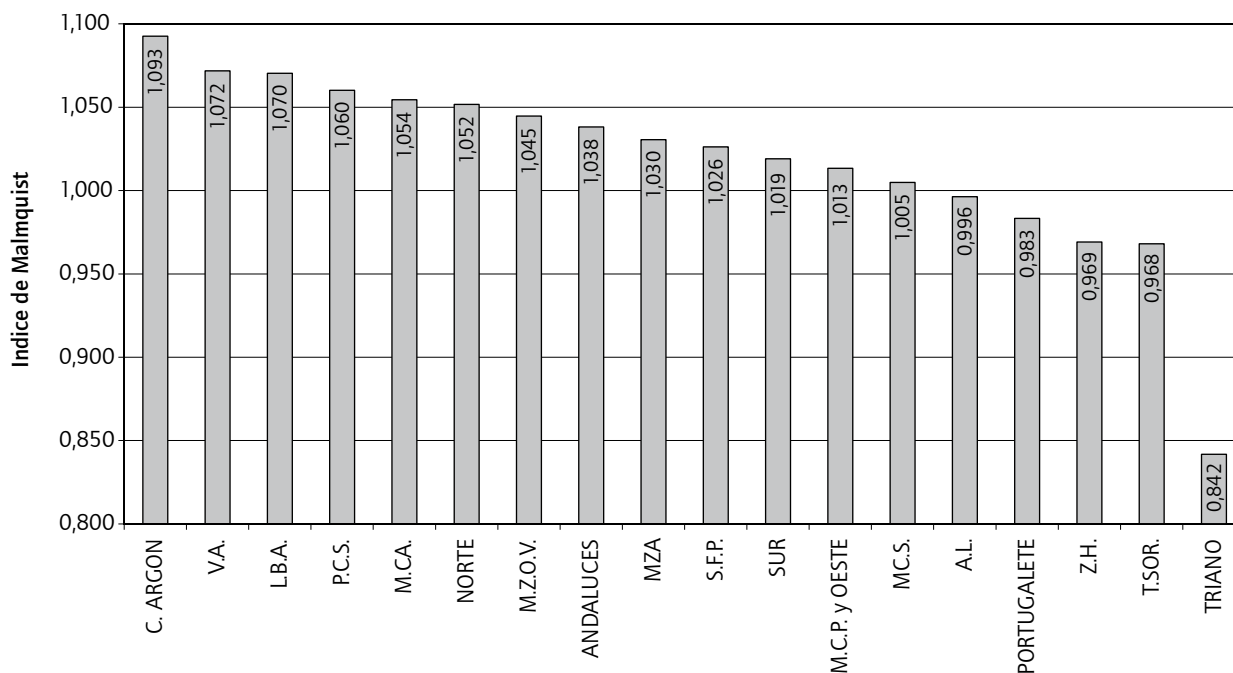
Analizada la evolución de la productividad según el modelo 2, se identifica un crecimiento del +34,3% para todo el periodo, basado igualmente en una mejora del cambio en eficiencia técnica del +41,8%, dado que el cambio técnico exhibe un retroceso del -5,3%.

CUADRO 10. Evolución de la productividad de las empresas ferroviarias españolas.

Criterio de cálculo	Modelo 1			Modelo 2		
	Evolución de la productividad entre periodos anuales adyacentes			Evolución de la productividad del periodo total (1910-1922)		
Compañías	Cambio eficiencia	Cambio tecnológico	Índice de Malmquist	Cambio eficiencia	Cambio tecnológico	Índice de Malmquist
MZA	1,032	0,995	1,026	1,451	1,014	1,471
NORTE	1,033	1,012	1,046	1,482	1,051	1,558
ANDALUCES	1,029	1,006	1,035	1,412	1,083	1,529
MCPO	1,071	0,947	1,015	2,279	0,850	1,937
SUR	1,042	0,974	1,014	1,630	0,868	1,415
C ARAGON	1,073	1,018	1,092	2,336	0,985	2,301
MZOV	1,034	1,007	1,042	1,495	1,072	1,603
SFP	1,023	0,998	1,021	1,312	0,990	1,299
ZH	0,975	1,005	0,980	0,738	1,024	0,756
LBA	1,051	1,015	1,066	1,814	1,117	2,026
TS	1,017	0,954	0,970	1,225	0,902	1,105
MCS	0,999	0,993	0,992	0,987	0,861	0,850
PCS	1,022	1,031	1,054	1,293	1,130	1,461
AL	1,059	0,945	1,001	1,984	1,394	2,765
VA	1,058	1,011	1,070	1,974	1,162	2,294
PORTUG	0,997	0,984	0,981	0,963	0,961	0,925
MCA	1,068	1,003	1,071	2,211	0,847	1,873
TRIANO	0,958	0,880	0,843	0,598	0,316	0,189
<i>Media geométrica</i>	<i>1,030</i>	<i>0,987</i>	<i>1,016</i>	<i>1,418</i>	<i>0,947</i>	<i>1,343</i>

Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO 2. Índice de Malmquist por compañía.



Fuente: elaboración propia.

El gráfico 2 muestra los valores medios de los IPTFM para cada compañía de acuerdo con los resultados obtenidos para el modelo 1, observándose que únicamente cinco de ellas presentan índices inferiores a la unidad, y de éstas cuatro se mantienen en la horquilla entre 0,95 y 1, mientras que la quinta empresa (Triano) muestra el índice más bajo (0,843), lo cual corrobora la situación que exhibía en el análisis de eficiencia DEA (cuadro 5). En términos positivos se constata que siete compañías exhiben un crecimiento productivo positivo anual entre el 1% y el 5%, mientras que otras seis compañías mantienen crecimientos entre el 5% y 10%, destacándose entre todas la Compañía del Ferrocarril Central de Aragón, que presenta un cambio productivo medio superior al 9% anual, principalmente debido a su importante mejora en el cambio en eficiencia, que alcanza un valor positivo medio del 7,3% anual.

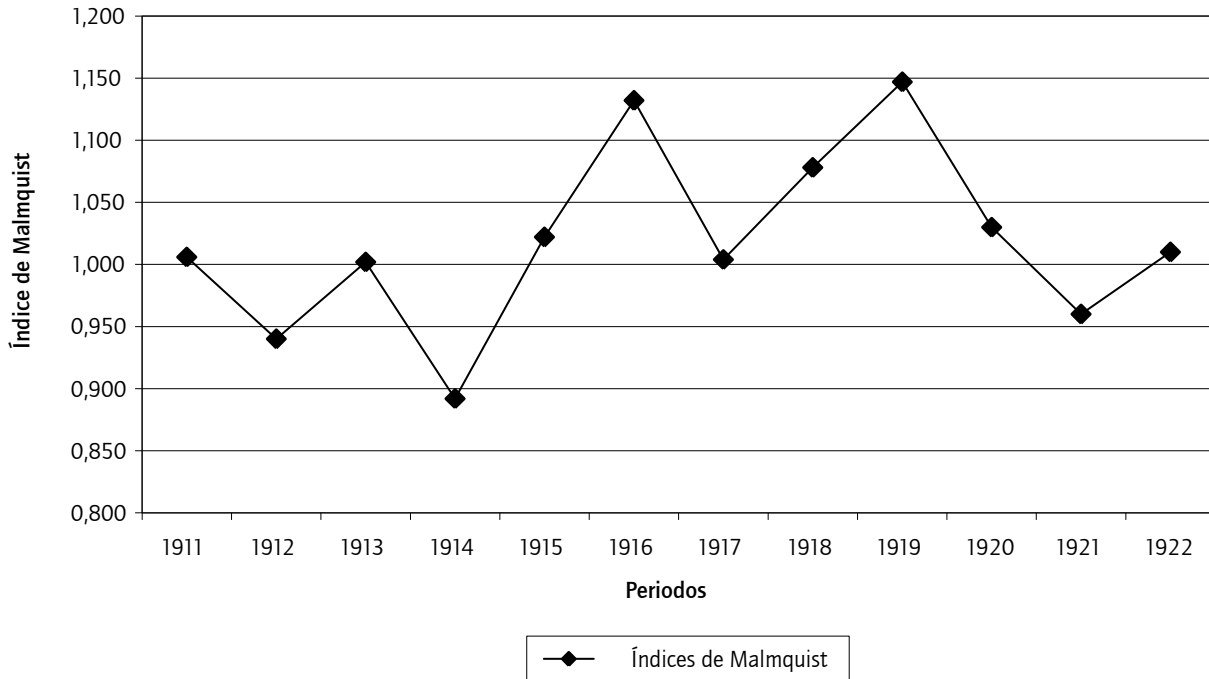
Desde una perspectiva global, el gráfico 3 recoge los valores medios del IPTFM para toda la muestra en cada uno de los años considerados. Así, se distingue una fase inicial de caída de la productividad media de la industria ferroviaria desde 1911 hasta 1914, momento a partir del cual se produce un crecimiento que alcanza hasta 1920, y que posteriormente declina hacia el final del periodo.

Analizado el cambio productivo por zonas geográficas, el gráfico 4 muestra, en valores medios, los resultados obtenidos respecto a los niveles de productividad alcanzados por regiones, observándose que las zonas geográficas "Oeste" y "Sur" presentan niveles de crecimiento en productividad

similares a la media global, siendo el efecto del cambio en eficiencia técnica el que consigue dicho crecimiento. Sin embargo, muy por debajo de la media se encuentra la región "Norte", que presenta una caída del cambio productivo del -9,1%, justificada principalmente por la recesión técnica del sector (-6,9%), así como en menor medida por la peor situación relativa de las compañías respecto a la frontera (-2,3%). Por el contrario, las compañías que operan en la región "Este" y las catalogadas como "Nacionales" obtienen índices de productividad por encima de la media (Zona Este: 7,8%; Nacionales: 3,6%) debido al buen comportamiento alcanzado tanto en cambio en eficiencia como tecnológico, que en ambos casos muestran índices por encima de la unidad.

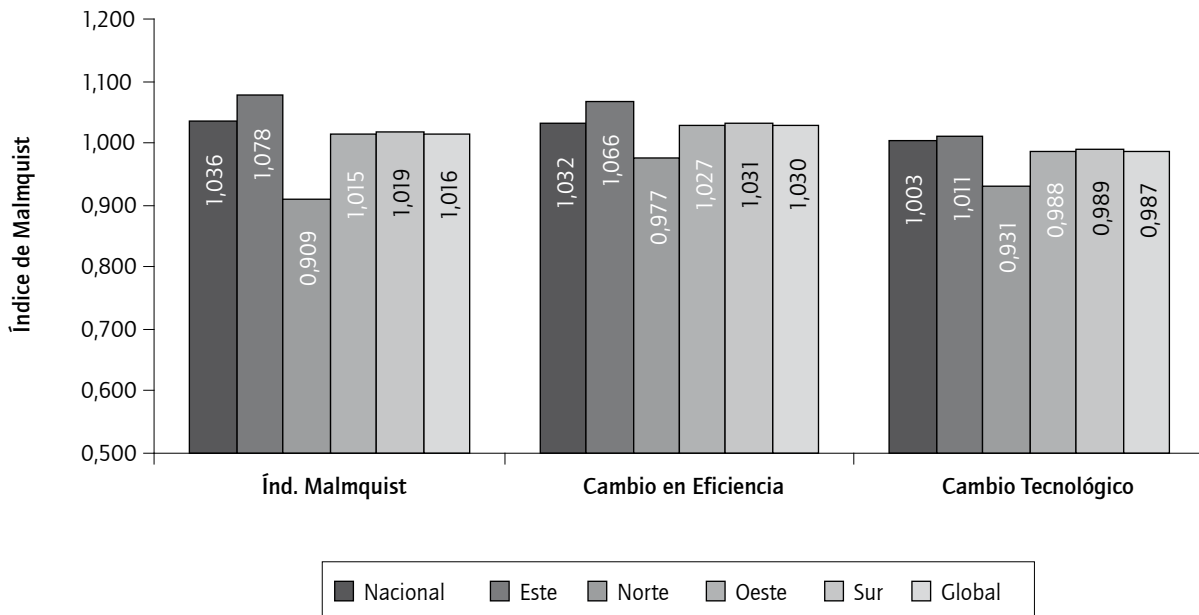
Para concluir el análisis del cambio productivo se relacionó la tasa de crecimiento de los ingresos de cada compañía con los IPTFM (cuadro 11), pudiendo constatar que los incrementos de productividad e ingresos están claramente correlacionados. Así, las compañías que presentaban decrementos de sus cifras de ingresos o crecimientos inferiores al 4% son las que obtienen valores en sus índices de productividad inferiores a la unidad, mientras que las compañías que alcanzaron los mayores incrementos en dichos índices son precisamente las que presentaban mayores tasas de crecimiento de sus ingresos, por lo que se puede concluir que las compañías con mejoras en cambio productivo se muestran como aquellas más proclives a obtener los mayores niveles de crecimiento de sus ingresos.

GRÁFICO 3. Índice de Malmquist por periodos.



Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO 4. Índice de Malmquist, cambio tecnológico y cambio en eficiencia por regiones.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El presente trabajo analiza el rendimiento de las compañías ferroviarias españolas de vía ancha a partir de una muestra representativa del sector para el periodo 1910-1922, momento en que dichas empresas detentaban el 96,5% de la red en uso. El estudio de su eficiencia y cambio

productivo a partir de la aplicación de la metodología DEA ha permitido extraer interesantes conclusiones que certifican ciertos acontecimientos acaecidos posteriormente a nivel corporativo, como la nacionalización por parte del Estado de las compañías ubicadas geográficamente dentro de la zona Oeste de España.

CUADRO 11. Productividad y crecimiento de ingresos.

Variación de ingresos	n.º compañías	Cambio eficiencia	Cambio tecnológico	Índice de Malmquist
Hasta + 3,9%	6	1,002	0,977	0,980
Entre + 4% y + 6,8%	7	1,035	0,991	1,028
Más de 6,9%	5	1,052	0,993	1,044
Total	18	1,030	0,987	1,016

Fuente: elaboración propia.

Desde el punto de vista de la eficiencia, los resultados obtenidos reflejan una evolución positiva de dicha variable a lo largo del horizonte temporal seleccionado (1910-1922), que se traduce en el incremento del número de empresas eficientes, que pasa del 39% al 50% de la muestra evaluada. En términos de *output*, la ineficiencia media alcanzada en el año 1910 fue del 23,37%, disminuyendo hasta el 15,87% en 1922, lo que indica que con los mismos recursos las compañías habrían podido conseguir un incremento de sus ingresos en dichos porcentajes para los años indicados. Por regiones son las empresas que operaban a nivel nacional las que se muestran plenamente eficientes, frente a las que lo hacían en la zona "Oeste", que presentaban niveles de rendimiento bastante inferiores (0,735), lo que posteriormente determinó la intervención del Estado para ejercer el control sobre la práctica totalidad de ellas.

Analizando los niveles de eficiencia respecto de otras variables explicativas, se puede concluir que las compañías más eficientes fueron en aquellos momentos las que se dedicaban fundamentalmente al tráfico de mercancías, con una frecuencia de más de ocho viajes al día y con una extensión de red muy elevada o de cobertura nacional, o bien muy localizada, y preferentemente en las zonas "Este" o "Norte".

En cuanto al cambio productivo, medido a través del índice de Malmquist a partir de la comparación de periodos de tiempo adyacentes, se constata un incremento medio anual del +1,6% debido fundamentalmente a una mejora de la eficiencia técnica (+3%). Por regiones fueron las compañías nacionales (+3,6%) y las que operaban en la región "Este" (+7,8%) las que alcanzaron mayores incrementos en productividad, mientras que las compañías radicadas en el norte de España fueron las que detentaron mayores descensos (-9,1%), debiéndose mencionar la elevada correlación entre los índices de productividad y la tasa de crecimiento de los ingresos.

Como corolario se debe subrayar que pese a los importantes problemas financieros que acuciaban a las compañías ferroviarias, estas consiguieron mejorar su eficiencia durante el periodo estudiado, aunque queda por investigar en posteriores trabajos si dicha mejora de rendimientos fue suficiente para compensar las pérdidas que se generaban

por el incremento de los precios de los *inputs* frente al control de las tarifas por parte del Estado.

Referencias bibliográficas

- Affuso, L., Angeriz, A. & Pollitt, M. G. (2002). Measuring the efficiency of Britain's privatised train operating companies. *Regulation Initiative Discussion Paper Series*, 48, 1-34. London: Business School.
- Álvarez, A. (2001). Concepto y medición de la eficiencia productiva. En *La medición de la eficiencia y la productividad* (pp. 19-40). Madrid: Ediciones Pirámide.
- Artola, M. (1978). La acción del Estado. En *Los ferrocarriles en España 1844-1943* (pp. 341-443). Madrid: Servicio de Estudios del Banco de España.
- Banker, R. D., Charnes, A. & Cooper, W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Berger, A. N. & Mester, L. J. (February, 1999). What explains the dramatic change in cost and profit performance of the US banking industry? *Working Paper*, 1. Federal Reserve Bank of Philadelphia.
- Bustelo, F. (1994). *Historia económica: introducción a la historia económica mundial. Historia económica de España en los siglos XIX y XX*. Madrid: Editorial Complutense.
- Cambó y Batlle, F. (1918). *Elementos para el estudio del problema ferroviario en España*. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Caves, D., Christensen, L. & Diewert, E. (1982). Multilateral comparisons of output, input and productivity using superlative index numbers. *The Economic Journal*, 92, 73-86.
- Charnes, A., Cooper, W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Comín, F., Hernández, M. y Llopis, E. (2002). *Historia económica de España, siglos X-XX*. Barcelona: Crítica.
- Comín, F., Martín, P., Muñoz, M. y Vidal, J. (1998). *150 años de historia de los ferrocarriles españoles*. Fundación de Ferrocarriles Españoles y Grupo Anaya, España.
- Cuéllar, D. (2007). El ferrocarril en España, 1848-2005: una visión en el largo plazo. *Jornadas de historia ferroviaria: 150 años de ferrocarril en Albacete, (1855-2005)* (pp. 11-64). Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- El-Magharay, S. & Ladhelma, R. (1995). Data Envelopment Analysis: Visualizing the Results. *European Journal of Operational Research*, 85, 700-710.
- Färe, R., Grosskopf, S. & Knox Lovell, C. A. (1994). *Production Frontiers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fisher, I. (1922). *The making of index number*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Griffell, E. & Lovell, C. A. K. (1995). A note on the Malmquist productivity. *Economics Letters*, 47, 169-175.

- Herranz, A. (2004). *La dotación de infraestructuras en España, (1844-1935)*. Madrid: Banco de España.
- Herranz, A. (2008). *Infraestructuras y crecimiento económico en España, (1850-1935)*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- Malmquist, S. (1953). Index Numbers and Indifference Surfaces. *Trabajos de Estadística*, 4, 209-242.
- Mas, M., Pérez, F. & Uriel, E. (1999). *El "stock" de capital ferroviario en España y sus provincias: 1845-1997*. Bilbao: Fundación BBVA.
- Ministerio de Fomento (1915). *Estadística de las Obras Públicas de España Ferrocarriles y Tranvías: situación en 1º de enero de 1912*. Datos de Explotación correspondiente a 1910 y 1911. Dirección General de Obras Públicas, Madrid.
- Ministerio de Fomento (1922). *Estadística de las Obras Públicas de España Ferrocarriles y Tranvías: situación en 1º de enero de 1917*. Datos de Explotación correspondiente a 1912, 1913, 1914, 1915 y 1916. Dirección General de Obras Públicas, Madrid.
- Ministerio de Fomento (1929). *Estadística de las Obras Públicas de España Ferrocarriles y Tranvías: situación en 1º de enero de 1923 y datos y gastos de explotación correspondientes a 1917, 1918, 1919, 1920, 1921 y 1922*. Dirección General de Obras Públicas, Madrid.
- Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes (1915-1920). *Anuario Estadístico de España*. Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, Madrid.
- Ministerio de Trabajo, Comercio e Industria (1915-1920). *Anuario Estadístico de España*. Dirección General de Estadística, Madrid.
- Muñoz, M. (1999). *El Estado como empresario ferroviario en siglo y medio del ferrocarril en España 1848-1998. Economía, industria y sociedad*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- Olmedo, A. (2001). *Estudio histórico del ferrocarril desde la perspectiva de sus normas reguladoras, Comunicación II Congreso de Historia ferroviaria "Siglo y medio de ferrocarriles"*. Madrid: Fundación de Ferrocarriles Españoles.
- Parkan, C. (2002). Measuring the operational performance of a public transit company. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(6), 693-720.
- Pastor, J. M. (1995). Eficiencia, cambio productivo y cambio técnico en los bancos y cajas de ahorro españolas: un análisis de la frontera no paramétrica. *Revista Española de Economía*, 12, 35-73.
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Törnqvist, L. (1936). The bank of Finland's consumption price index. *Bank of Finland Monthly Bulletin*, 10, 1-8.
- Wais, F. (1974). *Historia de los ferrocarriles españoles*. Madrid: Editora Nacional.
- Wais, F. (1987). *Historia de los ferrocarriles españoles (3ª. ed.)*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles.