

EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD EN EL SECTOR FERROVIARIO ESPAÑOL DE VIA ANCHA (1910-1922)

José Luis Montoya Chinchilla¹ e Isidoro Guzmán Raja
Universidad Politécnica de Cartagena

1. INTRODUCCION

Desde mediados del siglo XVII hasta comienzos del siglo XX se produce en Europa la denominada Revolución Industrial, proceso que inicialmente tuvo su origen en el Reino Unido y que posteriormente se extendió primero a la Europa continental y posteriormente a la mediterránea. La Revolución Industrial se identifica con un conjunto de transformaciones socioeconómicas, tecnológicas y culturales que desencadenan el paso de una economía agraria y artesana a otra dominada por la industria, cuyo comienzo se relaciona con la mecanización de las industrias textiles y el desarrollo de los procesos del hierro, y que más tarde se vería favorecida por la expansión del comercio como consecuencia de la mejora de las rutas de transportes y el nacimiento del ferrocarril.

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 configuran como piezas fundamentales para garantizar el desplazamiento de grandes cantidades de mercancías a una velocidad que ningún otro sistema de transporte de la época era capaz de alcanzar, al tiempo que incentivaban, además, la demanda de productos industriales que venía a reforzar el importante proceso de cambio tecnológico que se estaba produciendo a nivel europeo.

En este contexto, el presente trabajo pretende analizar los cambios en productividad de las distintas compañías de ferrocarril que a principios del siglo XX (1910-1922) operaban en España, tratando de discernir si dichos cambios obedecieron a un mejor aprovechamiento de los recursos de las empresas ineficientes o a un proceso de innovación tecnológico.

Para la medición de los niveles de productividad de las compañías ferroviarias se calculó el índice de productividad de Malmquist (Färe et. al., 1994) a partir del trazado de fronteras eficientes en base a la metodología del Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Análisis, DEA) desarrollada por Charnes, Cooper y Rhodes (1978). El Índice de Malmquist es capaz de proporcionar los niveles de productividad alcanzados por las unidades de decisión evaluadas (decision making units, DMU), pudiendo

¹ Investigador-Colaborador del Programa de Historia Ferroviaria de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles para la realización de este artículo.

descomponerse en dos términos que permiten evaluar las variaciones del cambio técnico del sector así como los cambios en eficiencia.

El resto del trabajo se estructura de la siguiente forma: la sección segunda describe la situación histórica para el periodo analizado, justificando la selección del mismo; la sección tercera se dedica a exponer la metodología utilizada; la sección cuarta recoge el diseño del estudio empírico, donde se incluye las variables del modelo de rendimiento seleccionado y la muestra objeto de estudio; la sección quinta muestra los resultados obtenidos, y finalmente, la sección sexta expone las principales conclusiones del trabajo.

2. LA SITUACIÓN HISTÓRICA DEL FERROCARRIL EN ESPAÑA DURANTE EL PERIODO 1910-1922

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 contribuyó 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, ya que por primera vez en la historia del transporte terrestre se conseguía la independencia de la tracción animal, lo que se reflejó de inmediato en el incremento de la capacidad de transporte, alcanzándose velocidades medias más de diez veces superiores a las conocidas hasta entonces y a un precio mucho más reducido (Artola, 1978). Así, durante la segunda mitad del siglo XIX se lleva a cabo la construcción de la práctica totalidad de la red de vía ancha, que en 1941 pasaría a formar parte de la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (RENFE), lo que hace especialmente interesante el periodo que pretendemos analizar (1910-1922) por cuanto las compañías no centraban su atención en la expansión de sus redes, sino que orientaban todos sus esfuerzos en rentabilizar los servicios que prestaban para intentar salir de la difícil situación económica en la que se encontraban.

La selección de dicho periodo puede justificarse por otros diversos motivos que se exponen a continuación. Así, un primer aspecto relevante es la prolongada ausencia de procesos de fusiones y adquisiciones durante el mismo, por otra parte bastante frecuentes entre las compañías del sector, puesto que las últimas combinaciones de empresas relevantes se producen en 1898 (Wais, 1974), cuando la Compañía MZA adquiere su red en Cataluña al fusionarse con la compañía de los Ferrocarriles de Tarragona a Barcelona y Francia, lo que se traduce en un incremento de 725 Km. de red, sin que posteriormente existan otros movimientos corporativos de importancia hasta el año 1923, fecha en que Ferrocarriles Andaluces absorbe a Ferrocarriles del Sur.

Un segundo aspecto no menos importante es el relacionado con la consolidación de la red ferroviaria, que en el periodo de referencia se encuentra prácticamente consolidada, como lo acredita que al inicio del mismo se encontraban construidos aproximadamente el 90% del total de los kilómetros de líneas que posteriormente (1941) se integrarían en RENFE (Artola, 1978).

Finalmente, un tercer aspecto a destacar es el relativo a los niveles de inversión practicados en el horizonte temporal objeto de estudio, por cuanto su importe es 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). En este sentido cabe señalar que el volumen de recursos manejados alcanzó para el periodo de estudio la cifra de 53.000 millones de pesetas anuales (año base: 1990), cuya aplicación se materializó fundamentalmente en la conservación y reparación del trazado de líneas, ejecutando durante este periodo obras de doble vía y renovando los antiguos carriles con otros de 42,5 y 45 Kg., a diferencia de periodos históricos anteriores en los que las inversiones en el sector se aplicaron exclusivamente para la ampliación de los kilómetros de vías (Mas *et al.*, 1999).

Adicionalmente cabe señalar que en dichos años se asiste a un aumento de la competencia en el sector del transporte, por un lado promovida desde el Gobierno con 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) 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, se detecta un claro incremento de la inversión en carreteras (Herranz, 2004), todo lo cual repercutía negativamente en las compañías de ferrocarriles de vía ancha, pues mientras sus red se encontraba estancada, la red de ferrocarriles de vía estrecha y la red de carreteras denotaban un continuo crecimiento. No en vano, en la segunda década del siglo XX empezó a acuñarse el término “Problema Ferroviario” a raíz de la insuficiencia de recursos económicos que tenían las compañías del sector para atender sus nuevas necesidades de inversiones en instalaciones y materiales, así como en gastos salariales. Dicho problema 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, que nunca fue considerada como un gran negocio, en esta época caminaba 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 (Cuellar, 2007).

Finalmente señalar que, además de las características históricas antes mencionadas, el periodo temporal seleccionado ofrece la posibilidad 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.

La Tabla 1 ofrece algunos datos que revelan las importantes variaciones registradas en el periodo objeto de análisis, donde se aprecia que mientras la red apenas se incrementó en un 2%, los kilómetros recorridos lo hicieron en un 31%. En este mismo sentido, si la capacidad para transportar viajeros tan sólo aumentó un 10%, el incremento del número de viajeros se elevó hasta el 89%, situación contraria a lo ocurrido con el transporte de mercancías, ya que si su capacidad se incrementó en un 67%, las toneladas de mercancías transportadas tan solo lo hicieron en torno a un 20%.

Tabla 1. Principales magnitudes de la Red de Ferrocarriles de Vía Ancha (1910-1922)

Conceptos	1910	1922	Diferencia	% Variación
Potencia total (hp)	1.077.889	1.783.332	705.443	65,45%
Número total de asientos	183.833	202.549	18.716	10,18%
Capacidad total (tm)	428.177	715.268	287.091	67,05%
Kilómetros recorridos	46.028.306	60.486.700	14.458.394	31,41%
Longitud media en explotación	11.091	11.352	261	2,35%
Número de viajeros	35.448.683	67.050.324	31.601.641	89,15%
Toneladas transportadas	21.240.684	25.409.875	4.169.191	19,63%

Fuente: Elaboración propia

Sin perjuicio de lo anterior, el presente trabajo no se centra en los problemas económicos de las compañías ferroviarias, sino en el estudio de cómo deberían haber intentado mejorar la asignación de los recursos disponibles para conseguir mejores resultados y así combatir los problemas fundamentalmente derivados de los precios.

3. LOS CAMBIOS EN PRODUCTIVIDAD: EL INDICE DE MALMQUIST BAJO ENFOQUE NO PARAMETRICO DEA

3.1. Medida de la eficiencia: la técnica DEA

La eficiencia de una unidad productiva de decisión (DMU) se identifica mediante la comparación entre los valores óptimos y los obtenidos, tanto desde la perspectiva de la asignación de factores (inputs) como de la obtención de productos (outputs). Si la evaluación de esta variable la realizamos sin considerar los precios de los insumos, recibe el nombre de *eficiencia técnica*, denominándose en caso contrario *eficiencia en precio*, pudiendo calcularse la *eficiencia total* como producto de ambas (Farrell, 1957). La idea que subyace en el razonamiento previo es el *concepto paretiano de eficiencia* según el cual una unidad será calificada como eficiente si no es posible aumentar uno cualquiera de sus productos sin aumentar alguno de sus inputs o reducir la cantidad producida de algún otro output; o bien, si no es posible disminuir uno cualquiera de sus inputs sin disminuir alguno de sus outputs o sin aumentar la cantidad utilizada de algún otro input.

La medida de la eficiencia técnica resulta sencillo cuando se abordan procesos productivos con un único producto (output) a partir de la transformación de un solo factor (input), incrementándose la complejidad del problema cuando se estudian procesos productivos multiproducto y/o multifactor, pudiendo considerarse para su cálculo dos tipos de metodologías (Parkan, 2002): los *modelos paramétricos* parten de la especificación de la forma funcional de la función de producción, utilizando técnicas estadísticas o de programación matemática para la estimación de sus parámetros de acuerdo a los datos ofrecidos por las DMUs evaluadas (Coelli *et al.*, 1998), mientras que los *modelos no paramétricos* consideran las propiedades que debe satisfacer el conjunto de posibilidades de producción, estimando una frontera conformada por las DMUs eficientes, sin que, por tanto, sea necesario a priori conocer la función de producción (Thanassoulis, 2001). De una comparación de ambos métodos 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).

Para la obtención de los niveles de eficiencia en este trabajo se ha seleccionado la técnica no paramétrica determinística del Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis, DEA) capaz de obtener un ratio multidimensional que proporciona un ranking de puntuaciones basado en el trazado de fronteras eficientes a partir de los datos suministrados por el proceso productivo, sin que sea necesario un conocimiento previo de la forma funcional de la función de producción. La técnica DEA fue propuesta por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) bajo la hipótesis de rendimientos a escala constantes (modelo CCR o CRS), que considera una colección de unidades productivas de decisión (DMUs), cada una de las cuales consume uno o varios inputs para producir uno o varios outputs, pudiendo asumir para el cálculo de la eficiencia relativa una posible doble orientación, según sea el objetivo previamente programado para la investigación. Así, la *orientación-input* identifica la mayor reducción radial de todos los consumos de inputs para obtener un nivel previamente aceptado de outputs, mientras que la *orientación-output* calcula la máxima expansión radial de productos a partir de un determinado nivel asumido de consumos de inputs.

La formulación matemática del DEA puede ser planteada mediante programación lineal, cuya solución debe obtenerse de forma independiente para cada una de las DMU que componen la muestra objeto de análisis. Así, si suponemos la existencia de n DMUs, cada una de las cuales aplica m inputs para producir s outputs, podemos asignar al vector X_{ij} la cantidad de inputs i utilizados por la DMU j , mientras que el vector Y_{rj} representaría la cantidad de output r producido por la DMU j . La variable (λ_j) indica el peso de la DMU j en la construcción de la unidad virtual de referencia que puede ser construida por combinación lineal del resto de DMUs respecto de la DMU z objeto de evaluación. Si dicha unidad virtual no puede ser conseguida, entonces la DMU z para la que resuelve el sistema se considerará eficiente.

Asumiendo la presencia de rendimientos a escala constantes (modelo CCR o CRS), la formulación matemática del DEA en orientación output sería la siguiente:

$$\text{Max } \varphi_z \quad (1)$$

s.a.:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \leq X_{iz} \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \geq \varphi_z Y_{rz} \quad r = 1, \dots, s \quad (3)$$

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

En la formulación recogida en (1)-(4) 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 (ρ_z) con rango entre 0 y 1 vendrá dada por la inversa del valor del escalar ϕ_z ($\rho_z = 1/\phi_z$).

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 ($\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} = 1$) 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. Adicionalmente, si comparamos el plan productivo de una determinada DMU sobre las fronteras de eficiencia de los modelos BCC y CCR, se puede determinar la *eficiencia de escala* (k) exhibida en (5) que pone de manifiesto la existencia de ineficiencia debido a una escala de producción no optimizada.

$$k_i = \frac{ET_{ccr}}{ET_{ccr}} \quad (5)$$

Para que la técnica DEA tenga poder de discriminación es necesario que el total de elementos muestreados n sea superior al número total de inputs/outputs incluidos en cada modelo, sugiriéndose que el total de DMUs supere el triple del total de variables utilizadas (El-Mahgary y Lahdelma, 1995)².

3.2. El índice de Productividad Total de los Factores de Malmquist (IPTFM)

El cálculo del índice Malmquist se basa en el trabajo pionero de Caves *et al.* (1982) que aplica funciones distancia para obtener la medida del cambio en eficiencia entre dos unidades de decisión. Como señalan Grifell-Tatjé y Lovell (1995) esta metodología presenta tres ventajas frente a otros índices frecuentemente utilizados en los cambios tecnológicos: i) no necesita suponer un comportamiento minimizador de costes o maximizador de ingresos; ii) no precisa de datos relativos a los precios, y iii) permite la descomposición del cambio productivo en cambio en la eficiencia técnica (acercamiento a la frontera o catching-up) y cambio técnico (o desplazamiento de la frontera). Sin embargo, el inconveniente principal de este índice es la necesidad de calcular previamente la distancia, lo que requiere la estimación de una función de producción antes de poder obtener el resultado final, pudiendo utilizarse la técnica DEA para resolver dicho problema.

² La técnica DEA viene siendo aplicada profusamente en sectores tales como educación, sanidad, justicia, transportes, software, industrias extractivas, bancario, etc. Emrouznejad (2005) proporciona un importante número de trabajos ordenados por diferentes campos.

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 cambio relativo de eficiencia técnica entre ambos periodos respecto de la frontera de eficiencia de la unidad analizada. El segundo término describe la variación de la frontera eficiente entre ambos periodos reflejando el *cambio tecnológico* del sector. Ambos índices pueden ser superiores, inferiores o iguales a 1. Un valor mayor que 1 en la variable de *cambio tecnológico* indica la existencia de progreso técnico, mientras que un valor inferior identifica la existencia de una recesión tecnológica. Para el *cambio en eficiencia técnica* un valor superior a 1 evidencia una mayor proximidad de las unidades evaluadas a la frontera respecto de los periodos analizados, mientras que valores por debajo de 1 revelan un mayor distanciamiento (Thanassoulis, 2001).

4. MODELO DE EFICIENCIA: MUESTRA Y VARIABLES

4.1. Muestra

Para analizar el rendimiento del ferrocarril español durante el periodo 1910-1922 se ha utilizado 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.

Cabe señalar que en el año 1910 las compañías seleccionadas aportaban a la red ferroviaria nacional 11.091 Km. de los 11.500 Km. existentes, lo que supone un 96,5% del total, por lo que la muestra seleccionada representa adecuadamente al sector objeto de estudio. La Tabla 2 contiene el listado de compañías que componen la muestra.

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

Nombre de la Compañía	Abreviatura
Compañía de los Ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y Alicante	MZA
Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España	NORTE
Compañía de los Ferrocarriles Andaluces	ANDALUCES
Sociedad de los Ferrocarriles de Madrid a Cáceres y Portugal	MCPO
Compañía de los Caminos de Hierro del Sur de España	SUR
Compañía del Ferrocarril Central de Aragón	C ARAGON
Compañía del Ferrocarril de Medina del Campo a Zamora y de Orense a Vigo	MZOV
Compañía del Ferrocarril de Salamanca a la Frontera de Portugal	SFP
Compañía de los Ferrocarriles de Zafra a Huelva	ZH
Compañía de los Ferrocarriles de Lorca a Baza y a Águilas	LBA
Compañía del Ferrocarril de Torralba a Soria	TS.
Compañía del Ferrocarril de Medina del Campo a Salamanca	MCS
Compañía del Ferrocarril de Pontevedra a Santiago	PCS
Sociedad del Ferrocarril de Alcantarilla a Lorca	AL
Sociedad de los Ferrocarriles de Valencia y Aragón	VA
Compañía del Ferrocarril de Bilbao a Portugalete	PORTUG
Compañía de Ferrocarriles y Tranvías (de Mollet a Caldas de Montbuy)	MCA
Diputación Provincial de Vizcaya (Triano a la ría de Bilbao)	TRIANO

4.2. Variables

La selección de variables se presenta como uno de los principales problemas para la medición de la eficiencia de cualquier unidad de decisión, restringido en este caso al sector de las compañías ferroviarias. En este sentido, basados en diversos estudios recientes (Affuso *et al.*, 2002), que han tratado el rendimiento de los ferrocarriles tanto a nivel nacional como internacional, encontramos evidencia sobre diversos modelos de eficiencia, a partir de los cuales nos planteamos la selección de las variables correspondientes, si bien bajo la importante restricción de la disposición de datos de tipo histórico. La Tabla 3 recoge las variables del modelo de eficiencia formado por un solo output y cuatro inputs, cuya justificación se expone a continuación:

Tabla 3. Variables del modelo de eficiencia DEA

Output = Ingresos por transporte de viajes y mercancías

Inputs = Potencia total disponible (locomotoras)
 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, sobre otras como el número de viajeros o toneladas de mercancías transportadas, debido a que además de la información recogida por éstas últimas, la variable elegida incorpora el precio del trayecto efectuado o la distancia recorrida.

En cuanto a los inputs, se optó por considerar las plazas disponibles por cada compañía para transportar pasajeros y mercancías, la potencia de las locomotoras y los kilómetros recorridos. La selección de las dos primeras variables 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 algunas 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.

Los datos utilizados proceden de diversas fuentes bibliográficas: Estadística de las Obras Públicas en España: Ferrocarriles y Tranvías (1910-1922); Anuarios Estadísticos de España (1910-1922), y Elementos para el estudio del Problema Ferroviario en España (Cambó y Batlle, 1918). La Tabla 4 muestra los estadísticos descriptivos de las variables que componen el modelo de eficiencia propuesto:

Tabla 4. Variables del modelo de eficiencia: estadísticos descriptivos

Estadístico	Ingresos Totales	Potencia Total (HP)	Número de Asientos	Capacidad Total (TM)	Kilómetros recorridos
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

5. RESULTADOS DEL ESTUDIO EMPÍRICO

5.1. Niveles de eficiencia

Para determinar los niveles de rendimiento sin considerar los movimientos periódicos de la frontera de eficiencia, se calcularon las puntuaciones DEA a partir de la hipótesis de rendimientos a escala variables (modelo BCC) y constantes (Modelo CCR) en orientación output para los años 1910, 1913, 1916, 1919 y 1922, así como la eficiencia de escala.

La Tabla 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 en el rendimiento de las compañías puesto que en el año 1922 dicho porcentaje de ineficiencia desciende hasta el 15,87%.

Tabla 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	0,68	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	0,75	0,74
LBA	0,596	0,9	0,859	0,888	0,882
TS.	0,425	0,709	0,882	0,423	0,472
MCS	1	0,94	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

En la Tabla 6 se muestran las puntuaciones de la eficiencia bajo la hipótesis de rendimientos a escala constantes (modelo CCR) así como la eficiencia de escala y el tipo de rendimientos (crecientes, decrecientes o constantes).

Tabla 6. Puntuaciones de eficiencia DEA (modelo CCR) y de eficiencia de escala (EE)

Compañías	1910		1913		1916		1919		1922						
	CCR	EE	CCR	EE	CCR	EE	CCR	EE	CCR	EE					
MZA	0,689	0,689	dec	1	1	con	1	1	con	1	1	con			
NORTE	0,674	0,674	dec	0,895	0,895	dec	0,868	0,868	dec	1	1	con	1	1	con
ANDALUCES	0,641	0,687	dec	0,864	0,875	dec	0,729	0,817	dec	0,828	0,828	dec	0,906	0,914	dec
MCPO	0,379	0,558	dec	0,687	0,925	dec	0,676	0,941	dec	0,825	0,984	dec	0,864	0,995	dec
SUR	0,614	0,655	dec	0,935	0,935	dec	0,872	0,872	dec	1	1	con	1	1	con
C ARAGON	0,428	0,705	dec	1	1	con	0,970	0,970	dec	1	1	con	1	1	con
MZOV	0,531	0,721	dec	0,987	0,987	dec	0,689	0,900	dec	0,924	0,954	dec	0,794	0,973	dec
SFP	0,319	0,748	dec	0,664	0,989	cre	0,433	0,961	cre	0,467	0,975	cre	0,418	0,970	cre
ZH	0,815	0,815	dec	1	1	con	1	1	con	0,564	0,752	dec	0,602	0,813	dec
LBA	0,478	0,802	dec	0,721	0,801	dec	0,816	0,950	dec	0,842	0,948	dec	0,867	0,983	dec
TS	0,349	0,821	cre	0,616	0,869	cre	0,714	0,809	cre	0,354	0,837	cre	0,427	0,905	cre
MCS	1	1	con	0,924	0,982	cre	0,822	0,969	cre	1	1	con	0,987	0,987	cre
PCS	0,514	0,970	cre	1	1	con	0,654	0,930	cre	0,828	0,994	cre	0,664	0,961	dec

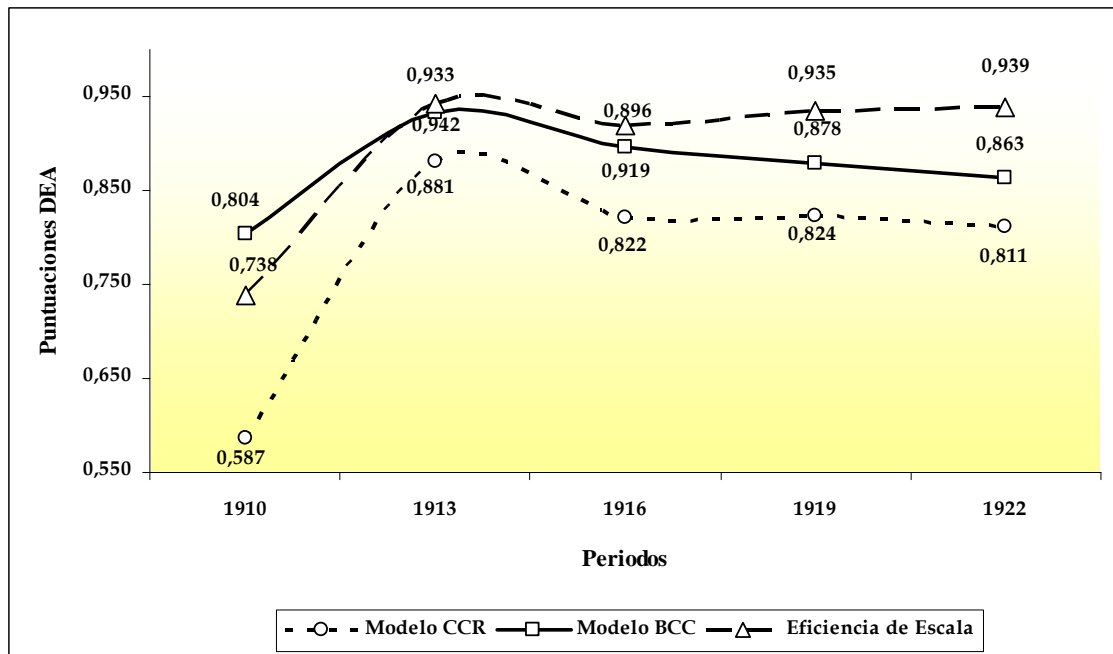
AL	0,504	0,740	cre	0,785	0,932	cre	0,908	0,908	cre	1	1	con	1	1	con
VA	0,506	0,506	cre	1	1	con	1	1	con	1	1	con	1	1	con
PORTUG	0,807	0,879	dec	1	1	con	1	1	con	1	1	con	0,778	0,778	dec
MCA	0,309	0,309	cre	0,771	0,771	cre	0,648	0,648	cre	0,628	0,628	cre	0,684	0,684	cre
TRIANO	1	1	con	1	1	con	1	1	con	0,581	0,934	cre	0,600	0,940	cre
Media Arit.	0,587	0,738		0,881	0,942		0,822	0,919		0,824	0,935		0,811	0,939	

Fuente: Elaboración propia;

Notas: dec = rendimientos decrecientes; crec = rendimientos crecientes; con = rendimientos constantes.

En el año 1910 la mayoría de las compañías (11 de 18) presentan rendimientos a escala decrecientes, proporción que va disminuyendo a lo largo del periodo analizado, constatándose en 1922 la existencia de siete compañías con rendimientos decrecientes, cinco con rendimientos crecientes y seis con rendimientos constantes.

Gráfico 1. Evolución de la eficiencia técnica



Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 1 muestra la evolución, en valores medios, de la eficiencia a lo largo del tiempo bajo la hipótesis de rendimientos a escala variable (Tabla 5), apreciándose un importante incremento de dicha variable entre los años 1910-1913, con una posterior suave tendencia de caída hasta el año 1922, si bien el incremento global del periodo (1910-1922) es superior al 7%. En este sentido, también cabe destacar que el número de empresas eficientes por año aumenta, pasando de 7 compañías en 1910 (39%) a 9 en 1922 (50%). Además, se observa que tan sólo dos compañías (Zafra-Huelva y Triano) no experimentan mejoras en sus rendimientos.

Para analizar los resultados obtenidos por regiones, se establecieron cinco grupos de acuerdo al ámbito geográfico de explotación de las diferentes compañías: a) compañías nacionales, b) compañías del Este (Valencia, Cataluña y Aragón), c) compañías del Sur

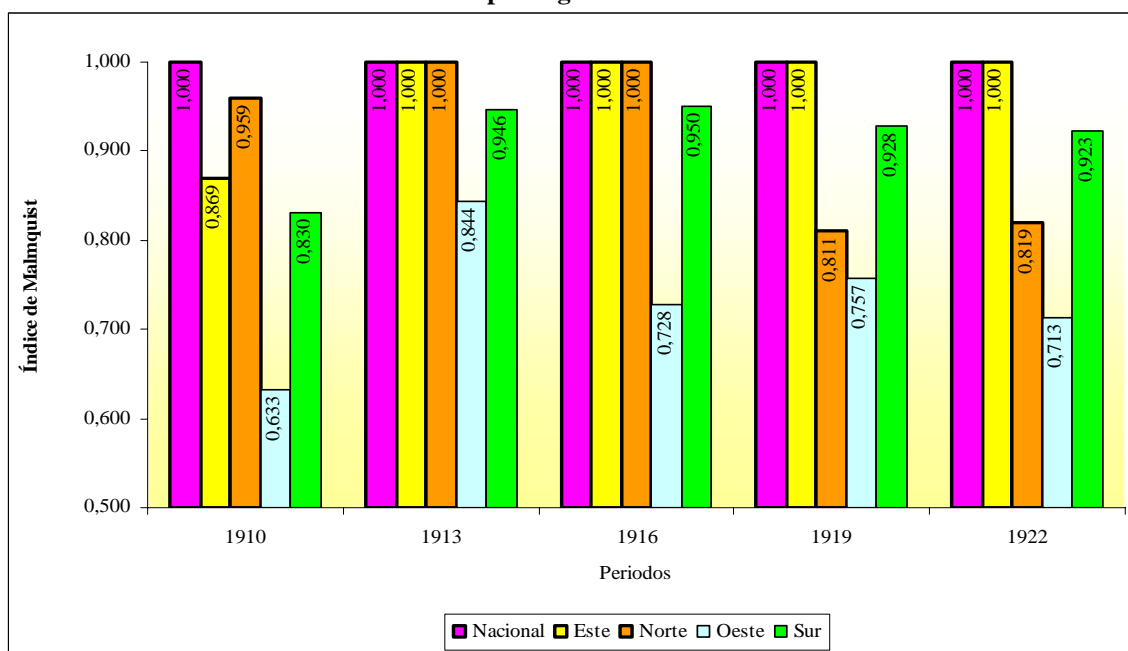
(Murcia y Andalucía), d) compañías del Oeste (Extremadura, Castilla León y Galicia), y e) compañías del Cantábrico (País Vasco). La Tabla 7 recoge la distribución de las empresas de la muestra de acuerdo a las zonas geográficas expuestas, mientras que el Gráfico 2 muestra, en valores medios, los niveles de rendimiento alcanzados en el periodo temporal objeto de estudio.

Tabla 7. Distribución de las compañías de la muestra por zona geográfica

Zona Geográfica	Compañías	Zona Geográfica	Compañías
Nacional	MZA NORTE	Este	C ARAGON VA
Norte	PORTUG TRIANO		MCA
Sur	ANDALUCES	Oeste	TS
	SUR		MCPO
	ZH		MZOV
	LBA		SFP
	AL		MCS PCS

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2. Puntuación de Eficiencia media por regiones



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el Gráfico 2, las empresas con trazado nacional (MZA y NORTE) 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 sólo obtienen un nivel del 74%. En este aspecto, si consideramos el rendimiento de todas las compañías, excepto las del 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 de las seis empresas calificadas dentro de la

zona Oeste (quedando excluida la compañía Torralba a Soria). 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.

5.2. Cambios en productividad: evolución del Índice de Malmquist

El cálculo de los índices de eficiencia (Gráfico 1) no resulta adecuado cuando se desea conocer el rendimiento de un conjunto de unidades de decisión a lo largo del tiempo, ya que éstos 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 calcularon los índices de productividad de Malmquist y su descomposición en cambio técnico y cambio en eficiencia, utilizando un doble planteamiento: en el Modelo 1 se determinaron dichos índices para cada uno de los periodos adyacentes anuales que forman el horizonte temporal objeto de estudio, obteniendo 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 nuevamente dichos índices, pero considerando en este caso únicamente los datos de los periodos inicial (1910) y final (1922). La principal diferencia entre ambos modelos estriba 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.

Los resultados obtenidos se exhiben en la Tabla 8, donde es posible constatar que según el Modelo 1, la productividad media anual de las compañías ferroviarias aumentó un 1,6%. Dicho incremento 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 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 retroceso técnico alcanza un porcentaje negativo del 5,3%.

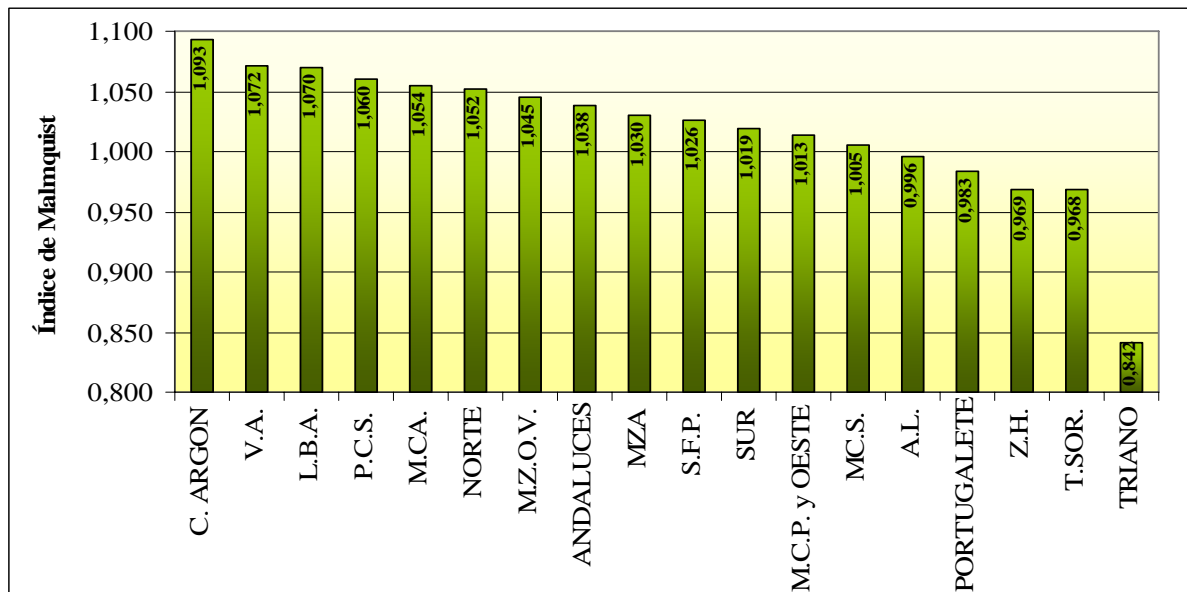
Tabla 8. Evolución de la productividad de las empresas ferroviarias españolas

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
Media geométrica	1,030	0,987	1,016	1,418	0,947	1,343

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 3 se muestran los valores medios de los IPTFM para cada compañía según 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) presenta el índice más bajo (0,843), lo cual corrobora la situación que exhibía en el análisis de eficiencia DEA (Tabla 4).

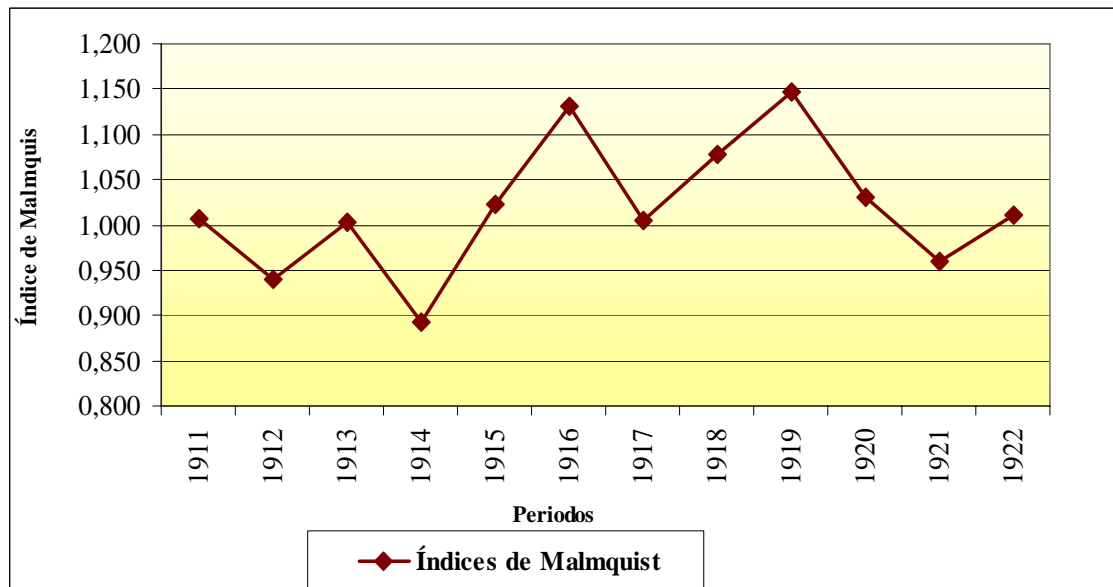
Gráfico 3. Índice de Malmquist por compañía



Fuente: Elaboración propia

Desde un punto de vista global, el Gráfico 4 recoge, en valores medios, los índices de Malmquist medios de toda la muestra para cada uno de los años considerados. Así, se distingue una fase inicial de caída de la productividad media de la industria ferroviaria desde 1911 a 1914, instante a partir del cual se produce un crecimiento hasta 1920, que posteriormente declina hacia el final del periodo.

Gráfico 4. Índice de Malmquist por periodos



Fuente: Elaboración propia

Por regiones, la Tabla 9 recoge, en valores medios, los resultados obtenidos respecto a los niveles de productividad alcanzados por las diversas compañías así como la media

regional, observándose que las regiones “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 de la productividad del 9,1%, justificada principalmente por la recesión técnica del sector (6,9%) así como, aunque 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 que tienen tanto el cambio en eficiencia como tecnológico, que en ambos casos muestran índices por encima de la unidad.

Tabla 9. Evolución de la productividad por regiones geográficas

Compañías	Región	Cambio Eficiencia	Cambio Tecnológico	Índice de Malmquist
C ARAGON	este	1,073	1,018	1,092
VL	este	1,058	1,011	1,070
MCA	este	1,068	1,003	1,071
Media Región Este		1,066	1,011	1,078
MZA	nacional	1,032	0,995	1,026
NORTE	nacional	1,033	1,012	1,046
Media Cías Nacionales		1,032	1,003	1,036
PORTUG	norte	0,997	0,984	0,981
TRIANO	norte	0,958	0,880	0,843
Media Región Norte		0,977	0,931	0,909
MCPO	oeste	1,071	0,947	1,015
MZOV	oeste	1,034	1,007	1,042
SFP	oeste	1,023	0,998	1,021
TS	oeste	1,017	0,954	0,970
MCS	oeste	0,999	0,993	0,992
PCS	oeste	1,022	1,031	1,054
Media Región Oeste		1,027	0,988	1,015
ANDALUCES	sur	1,029	1,006	1,035
SUR	sur	1,042	0,974	1,014
ZH	sur	0,975	1,005	0,980
LBA	sur	1,051	1,015	1,066
AL	sur	1,059	0,945	1,001
Media Región Sur		1,031	0,989	1,019
Media Global		1,030	0,987	1,016

Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo analiza la evolución de los niveles de eficiencia y productividad del sector ferroviario español de vía ancha a comienzos del siglo XX, periodo histórico en el que atravesó una de sus crisis mas importantes conocida como el nombre del “Problema Ferroviario”, que desencadenaría posteriormente la nacionalización de distintas compañías, en un primer momento a través de la constitución de la Compañía

Nacional de los Ferrocarriles del Oeste, y más tarde rescatando todas las líneas de ancho normal español mediante la creación el 1 de febrero de 1941 de la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (RENFE).

La metodología aplicada en este estudio ha consistido en el análisis de los niveles de eficiencia mediante la aplicación de la técnica DEA, así como el posterior estudio de la evolución de los cambios en productividad a través del cálculo de los índices de Malmquist sobre la base del modelo de rendimiento previamente implementado.

Los resultados obtenidos indican una evolución positiva de la eficiencia de las empresas ferroviarias a lo largo del horizonte temporal seleccionado (1910-1922), que se traduce en el incremento del número de empresas eficientes en términos relativos, que pasa del 39% al 50%. 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 operaban 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.

Las estimaciones del cambio productivo medido a través del índice Malmquist indican a un aumento medio anual del 1,6% (modelo 1) debido fundamentalmente a una mejora de la eficiencia técnica (3%). Considerado el periodo total evaluado (modelo 2) se evidencia un aumento de la productividad del 34,3%, con una mejora en el cambio en eficiencia que alcanza el 41,8%, si bien se aprecia una recesión técnica del sector del -5,3%. Por regiones son las compañías nacionales (3,6%) y las que operan en la Región “Este” (7,8%) las que obtienen mayores incrementos en productividad, mientras que las compañías radicadas en el norte de España son las que alcanzan mayores descensos (9,1%).

Finalmente, se debe destacar que pese a los problemas financieros que acuciaban a las compañías ferroviarias, éstas consiguieron mejorar su eficiencia durante el periodo estudiado, aunque queda para posteriores trabajos el análisis de si dicha mejora de rendimientos fue suficiente para compensar las pérdidas que se generaban por el incremento de los precios de los input frente al control de las tarifas por parte del Estado.

BIBLIOGRAFÍA

Affuso, L.; Angeriz, A.; Pollitt, M. G. (2002), Measuring the efficiency of Britain's privatised train operating companies, *Regulation Initiative Discussion Paper Series No. 48*, London Business School.

Anuario Estadístico de España (1915-1920), Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes.

Anuario Estadístico de España (1921-1922), Dirección General de Estadística, Ministerio de Trabajo, Comercio e Industria.

Artola, M. (1978): *Los ferrocarriles en España (1844-1943)*, vol 2, Banco de España, Madrid.

Banker, R.D.; Charnes, A.; Cooper, W. (1984): Some Models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, vol. 30, nº9, 1078-1092.

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 Makings Units, *European Journal of Operational Research*, vol. 2, 429-444.

Coelli, T.; Prasada Rao, D.S.; Battese, G.E. (1998): *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Kluwer Academic Publishers, Massachussets, USA.

Comín, F.; Martín, P; Muñoz, M.; Vidal, J. (1998): *150 años de Historia de los Ferrocarriles Españoles*, vol. 2, Fundación de Ferrocarriles Españoles y Grupo Anaya, España.

Cuellar, 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)*, Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 11-64.

El-Maghary, S.; Ladhelma, R. (1995): Data Envelopment Analysis: visualizing the results, *European Journal of Operational Research*, 85, 700-710.

Emrouznejad, A (1995): Data Envelopment Analysis Homepage, www.DEAzone.com, última visita: 4/9/2009.

Estadística de las Obras Públicas de España Ferrocarriles y Tranvías (1915): situación en 1º de enero de 1912. Datos de Explotación correspondiente a 1910 y 1911, Dirección General de Obras Públicas, Ministerio de Fomento, Madrid.

Estadística de las Obras Públicas de España Ferrocarriles y Tranvías (1922): situación en 1º de enero de 1917. Datos de Explotación correspondiente a 1912, 1913, 1914, 1915 y 1916. Dirección General de Obras Públicas, Ministerio de Fomento, Madrid.

Estadística de las Obras Públicas de España Ferrocarriles y Tranvías (1929): 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, Ministerio de Fomento Madrid.

Färe, R.; Grosskopf, S.; Knox Lovell, C.A. (1994): *Production Frontiers*, Cambridge: Cambridge University Press.

Farrel, M.J. (1957): The Measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, Vol. 120, 253-289.

Grifell, 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)*, Banco de España, Madrid.

Mas, M.; Pérez, F.; Uriel, E. (1999): *El "stock" de capital ferroviario en España y sus provincias: 1845-1997*, Fundación BBVA, Bilbao.

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 paramétrico, *Revista Española de Economía*, 12, 35-73.

Thanassoulis, E. (2001): *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis*, Ed. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Wais, F. (1974): *Historia de los Ferrocarriles Españoles*. Editora Nacional, Madrid.