

# LA EFICIENCIA TÉCNICA DEL SECTOR ELÉCTRICO PENINSULAR ESPAÑOL: UN ANÁLISIS DEL PERÍODO 1998-2001

**E. GUTIÉRREZ MOYA (\*)**

Departamento de Organización Industrial  
y Gestión de Empresas.

**M. T. ARÉVALO QUIJADA**

Departamento de Economía Aplicada III.  
Universidad de Sevilla.

Actualmente los países desarrollados están llevando a cabo políticas energéticas orientadas a la consecución de tres objetivos básicos, los cuales deben hacerse compatibles entre sí: estos son, el aumento de la competitividad de la economía con la mejora de la eficiencia energética, la integración de los objetivos medioambientales y la seguridad en el

abastecimiento. Estos objetivos deben ser perseguidos en un mercado energético internacional caracterizado en los últimos años por el incremento de la oferta de energía, aunque con fluctuaciones en los precios y un crecimiento sostenido de la demanda.

En los últimos años, la eficiencia en los sectores de oferta energética, electricidad y gas, se ha fomentado a través de la liberalización creciente de los mercados, aunque experiencias como la de California, durante el verano del año 2000, y la ocurrida en Cataluña, durante las navidades del año 2001, han mostrado que los riesgos de desequilibrio son más elevados durante la transición de la liberalización, por lo que, en algunos países, se está desarrollando una segunda generación de reformas normativas en este campo, siendo éste el caso de España.

Este trabajo es una primera aproximación al estudio de la eficiencia técnica de las empresas eléctricas españolas de ciclo completo, las cuales tuvieron que

hacer frente al nuevo entorno de carácter liberalizador que se inició en España con la entrada en vigor de la nueva ley del Sector Eléctrico en 1998. El estudio se basa en la metodología de técnicas de frontera, que permite mediante el índice de Malmquist estimar el nivel de eficiencia y el crecimiento de la productividad conjunta de los factores empleados. En este trabajo se utilizará como medida evaluadora de la eficiencia el Índice Generalizado de Malmquist, siguiendo la metodología propuesta por Grifell *et al.* (1995, 1997). Este índice, a diferencia del índice de Malmquist tradicional (Malmquist(1953)) permite descomponer las variaciones de la productividad, además de, según el nivel de eficiencia técnica y cambio tecnológico, según el nivel de escala facilitando la identificación de ineficiencias causadas por una infratilización de los factores productivos y por la presencia de anomalías en el mercado dificultando a las empresas trabajar según niveles óptimos. Asimismo, el índice de Malmquist tradicional se convierte en una medida equivoca del cambio produc-

tivo en los casos en los que la tecnología presenta rendimientos de escala variable, requiriéndose la evaluación del nivel de escala, tal como demuestran Grifell *et al* (1995).

Según estos propósitos, el análisis está dividido en cuatro apartados. El primer apartado tiene un carácter introductorio. El segundo apartado explica el objeto de la elección del sector eléctrico para llevar a cabo el referido estudio. En el tercer apartado tiene lugar el estudio empírico cuyo objetivo es conocer la evolución seguida, en materia de eficiencia técnica, por el sector eléctrico español durante el período 1998-2001. Finalmente, en el cuarto apartado, se presentan las conclusiones más relevantes del trabajo.

### EL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL COMO OBJETO DE ESTUDIO ↓

El desarrollo de la Directiva Europea 96/92 y, en España, del Protocolo de diciembre de 1996 y de la Ley 54/97 supuso una transformación del sector eléctrico español desde una situación en las que las decisiones estratégicas y de inversión dependían básicamente de la Administración a otra caracterizada por la iniciativa empresarial. El cuerpo regulatorio de aplicación vigente hasta el momento era el Marco Legal Estable (1988-1997), cuyos objetivos fundamentales estaban basados en la estabilización de la tarifa eléctrica, el control de la planificación de las actividades de suministro eléctrico y la recuperación de los activos a lo largo de su vida útil. En este sentido, el nuevo escenario que se configura para el sector con la entrada en vigor de la nueva ley tiene como fin primordial conseguir, gradualmente, un Mercado Único Europeo de la Electricidad en un marco liberalizado, sin posiciones de dominio y, con respecto a las prácticas de la libre competencia, que permita un suministro de calidad a unos precios competitivos.

En España, el desarrollo de la Ley del Sector Eléctrico se manifestó en diversas direcciones, la más visible fue la entrada en funcionamiento del mercado de la electricidad a partir de la incorporación de la competencia parcial en la actividad de generación, una transición en la competencia en comercialización, conservando la regulación según tarifa en las actividades de transporte y distribución. El proceso de desregulación adoptado en España conservó la integración vertical de las actividades, a diferencia de otros países donde se estableció una separación vertical entre las actividades de generación y comercialización.

El papel de Red Eléctrica Española (R.E.E.) como operador del sistema eléctrico fue fundamental, ya que dio al funcionamiento del mercado el soporte necesario para garantizar que la seguridad del sistema no

quedara comprometida en ningún momento. Además, también se creó la figura del *operador del mercado* (O.M.E.L.) que asume las funciones necesarias para realizar la gestión económica referida al eficaz desarrollo del mercado de producción de electricidad, gestionando el mercado mayorista de electricidad y ejerce las mismas respetando los principios de transparencia, objetividad e independencia. Esta entidad está controlada por el Comité de Agentes del Mercado, encargado de supervisar la casación y liquidación de las operaciones.

A la entrada en vigor de la ley de Hidrocarburos de 1998, la Comisión Nacional del Sistema Eléctrico (C.N.S.E.), como agente regulador del sistema eléctrico, se transforma en la Comisión Nacional de la Energía (C.N.E.) como ente regulador del funcionamiento de los sistemas energéticos, teniendo por objeto velar tanto por la competencia efectiva en los mismos como por la objetividad y transparencia de su funcionamiento, en beneficio de todos los sujetos que operan en dichos sistemas y de los consumidores.

El fin principal del proceso liberalizador adoptado en el sector eléctrico español está basado en la relación efecto que tiene la competencia en la eficiencia. Los escenarios competitivos proporcionan los indicadores de producción y/o inversión pertinentes. Ante la aparición de estos nuevos desafíos en el ámbito del suministro y crecimiento económico, la eficiencia se configura como un instrumento básico para la supervivencia en el mercado.

El transito gradual de uno a otro modelo está teniendo un desarrollo no exento de dificultades, algunos de los principales problemas están relacionados con la implantación homogénea del modelo en todo el ámbito de la Unión Europea, como se puso de manifiesto en la cumbre de Estocolmo, donde surgieron divergencias entre los países respecto al ritmo adecuado para la consecución del Mercado Único de la Electricidad.

Otra de las dificultades está determinada por el efecto de las singulares características del sector en cuanto al tipo de producto, a las especiales exigencias tecnológicas, a las inversiones requeridas y al papel que desempeña la energía eléctrica en el desarrollo de la sociedad. En este sentido, conviene tener presente las consecuencias que sobre el sector eléctrico están produciendo acuerdos a nivel internacional o mundial en otras materias como, por ejemplo, el medio ambiente.

A pesar de todo, el nuevo modelo avanza de forma irreversible en Europa y, especialmente, en España ya que fue uno de los primeros países en la adopción de los criterios surgidos de la Directiva Europea, donde los grados de desregulación y aumento de compe-

tencia del sector eléctrico son superiores a los alcanzados por la mayoría de los países de la Unión. En el año 2000, se produjeron nuevos impulsos liberalizadores en nuestro país, concretados especialmente en las medidas del Real Decreto Ley 6/2000, que, por un lado, adelantan nuevamente el calendario de apertura del mercado respecto a los plazos previamente establecidos y, por otro, establecen limitaciones para la instalación de nueva potencia en aquellas empresas que se considera poseen ya una fuerte posición en el mercado.

Pero, además, en los últimos años se está haciendo cada vez más patente la necesidad de intensificar el esfuerzo inversor de las compañías eléctricas para afrontar la expansión de la economía española sin que se planteen problemas de estrangulamiento. Estas exigencias de nuevas inversiones vienen reforzadas, de una parte, por la práctica desaparición del tradicional exceso de capacidad que había mantenido el sector eléctrico y, de otra, por los niveles de calidad exigidos por los clientes, que requieren nuevas instalaciones capaces de garantizar elevadas cotas de servicios.

Todo lo expuesto anteriormente hace que el análisis de la eficiencia técnica del sector eléctrico español tenga especial interés por tres razones que constituyen las premisas fundamentales del nuevo desarrollo reglamentario y que se exponen a continuación:

- A partir del año 1998, comienza una nueva etapa liberalizadora para las empresas eléctricas españolas, la cual crea una fuerte incertidumbre para las empresas, los consumidores y el ente público. Por ello se estudia el período que comprende los años 1998-2001 (ambos inclusive), en el que el sector ha experimentado importantes cambios liberalizadores entre otros.
- Las inversiones realizadas por las empresas eléctricas en España, en las que se pone de relieve el importante peso específico que tienen para la infraestructura del sector eléctrico español.
- La productividad y la eficiencia del sector eléctrico por ser un tema de indudable interés en España. El hecho de que las empresas eléctricas trabajen con eficiencia constituirá un factor decisivo en el posible desplazamiento de la cuota de mercado entre las distintas compañías eléctricas.

### EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA DEL SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL

La eficiencia técnica es un concepto tecnológico que se concentra básicamente en los procesos productivos y en la organización de tareas. Puede expresarse, tanto en términos de productos u outputs,

como en términos de recursos o inputs. Por lo tanto, la idea de la ineficiencia técnica está originada por problemas tecnológicos que implicarían, bien la obtención de un número de productos u outputs excesivamente escasos, para una combinación de recursos o inputs dado, bien la necesidad de un número menor de recursos para obtener un número de productos dado.

Existen varias aproximaciones para evaluar la eficiencia relativa técnica de distintas unidades respecto a la frontera eficiente de producción. Estas técnicas se pueden clasificar, principalmente, en dos categorías, una de ellas basada en técnicas de programación matemática (aproximación no paramétrica), y otra en técnicas estadísticas (aproximación paramétrica).

En el trabajo se ha seguido la aproximación no paramétrica ya que no requiere la definición de una expresión funcional de la estructura de producción tecnológica, la cual sí requiere la aproximación paramétrica. Entre las medidas que se pueden utilizar para este fin se encuentran, entre otras, las proporcionadas por Törnqvist (1936) y Malmquist (1952). Esta última tiene la capacidad de evaluar múltiples factores así como la posibilidad de considerar el efecto de las economías de escala en el cambio productivo.

El índice de Malmquist, que originariamente se empleó en la teoría del consumidor, y las posteriores contribuciones realizadas por diversos autores como Caves *et al.* (1982) y Färe *et al.* (1995) lo han convertido en una medida generalmente aceptada en la evaluación de la productividad en períodos intertemporales. En este trabajo, utilizaremos el índice de Malmquist, siguiendo la metodología propuesta por Grifell *et al.* (1995, 1997), estos autores proponen un índice de productividad de *Malmquist Generalizado* como medida capaz de determinar la contribución que las economías de escala realizan al cambio productivo.

Sea  $X^t \in \mathbb{R}^N$  e  $Y^t \in \mathbb{R}^M$  dos vectores de los recursos y los productos en el período  $t$ ,  $t=1, \dots, T$  de una unidad objeto de evaluación, respectivamente. La tecnología en el período  $t$  modeliza la transformación de recursos en productos.

$$R^t = \{(X^t, Y^t) : X^t \text{ puede producir } Y^t\}$$

Färe *et al.* (1994) definen la función de distancia al output en  $t$  como:

$$D^t(X^t, Y^t) = \inf\{\theta : (X^t, Y^t / \theta) \in R^t\}$$

Siguiendo a Grifell *et al.* (1997) el índice de productividad de Malmquist Generalizado  $G^t(X^t, Y^t, X^{t+1}, Y^{t+1})$  entre dos períodos  $t$  y  $t+1$  con orientación hacia los

productos y considerando como referencia la tecnología del periodo  $t$  se puede expresar como

$$G^t(X^t, Y^t, X^{t+1}, Y^{t+1}) = M^t(X^t, Y^t, X^{t+1}, Y^{t+1}) \cdot E^t(X^t, Y^t, X^{t+1}, Y^{t+1}) \quad (1)$$

De esta forma, el índice de Malmquist Generalizado se expresa como producto de dos índices, el primero de ellos, es el índice de Malmquist con orientación hacia los productos que proporciona una medida de eficiencia sin considerar el efecto de las economías de escala, el cual se define (Shephard(1970))

$$M^t(X^t, Y^t, X^{t+1}, Y^{t+1}) = \frac{D^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D^t(X^t, Y^t)} = \frac{D^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D^t(X^t, Y^t)} \cdot \frac{D^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})} = H^t \cdot F^t \quad (2)$$

Esta expresión (2) es el cociente de dos funciones de distancia con orientación producto y compara los recursos y productos del periodo  $t+1$  con los del periodo  $t$  a través de la tecnología del periodo  $t$ . Los valores obtenidos serán superiores, iguales o inferiores a la unidad según si la unidad analizada ha experimentado un incremento, estancamiento o reducción de la productividad sin considerar el efecto de las economías de escala entre los períodos  $t$  y  $t+1$ . La expresión (2) a su vez se descompone en dos índices de eficiencia, el primero de los cuales,  $H^t$ , proporciona una medida de la contribución que hacia la productividad realiza la eficiencia técnica entre los períodos  $t$  y  $t+1$ , y el segundo,  $F^t$ , facilita una medida del cambio técnico, es decir, del desplazamiento de la frontera de producción entre  $t$  y  $t+1$ .

El segundo índice de la expresión (1) es un índice, según la orientación producto, que mide la contribución que realiza las economías de escala hacia la evolución de la productividad. Al igual que los ya descritos anteriormente, puede alcanzar valores superiores, iguales o inferiores a la unidad según los cambios en las economías de escala de la unidad analizada contribuyan positivamente, igual, o negativamente en la mejora de la eficiencia.

Existe una gran variedad de técnicas para la construcción de las distintas medidas de eficiencia hasta ahora descritas, sin embargo, en este trabajo se empleará la metodología de Análisis por Envoltura de Datos (Data Envelopment Analysis, DEA) para este propósito. La técnica DEA se ha convertido, desde su introducción (Charnes *et al.* (1978)), en una de las herramientas básicas a disposición de los *management scientist* en el análisis de los objetivos de la organización.

La productividad de una/s organización/es es útil cuando el ente que se estudia tiene capacidad de

decidir acerca de la cantidad de cada uno de los recursos que están siendo utilizados y los productos y/o servicios que se generan. Por ello, a la unidad productiva se le denomina decisoria, en la literatura anglosajona Decision Making Unit (DMU). Como su propio nombre indica, el Análisis Envoltura de Datos supone la identificación de una frontera eficiente que envuelve o encierra al conjunto de observaciones de la muestra objeto de estudio. DEA es una técnica que evalúa la eficiencia de unidades de decisión, DMU's, siendo los elementos utilizados para la comparación, los recursos de entrada a partir de ahora recursos y los recursos de salida a partir de ahora *productos* o también denominados, según términos anglosajones, inputs y outputs respectivamente.

Esta técnica se ha utilizado con gran profusión en el sector público, como es el caso particular de los centros de educación y hospitales, también se ha utilizado en sectores privados, como el sector bancario y el sector eléctrico, ejemplos de este último son los trabajos de Miliotis(1992), Hjalmarsson *et al.* (1992), Agrell (1998), Førsund *et al.*(1998), Scully (1998), Zhang *et al.* (1998), Ryczka (2001), Lo *et al.*(2001), Resende (2002) y Pahwa *et al.* (2003).

En el ámbito del sistema eléctrico español se pueden citar los trabajos de Ravelo(1991), que estudia la eficiencia del sector durante el periodo 1983-1988, y Arocena *et al.*(1998), especialmente este último analiza mediante DEA las consecuencias que el MLE tuvo en la generación eléctrica basada en el carbón durante el periodo 1988-1995.

### Selección de las unidades de decisión, las variables entrada y salida ↓

Para la aplicación de la técnica de Análisis Envoltura de Datos es necesario elegir una serie de recursos o entradas y productos o salidas para su desarrollo. La selección de estas variables, tratándose de un sector tan especial y complejo como es el sector eléctrico, ha estado condicionada principalmente por:

- La estimación de la frontera de producción eficiente y los índices de Malmquist se ha realizado a partir de los datos publicados en los informes anuales de los grupos eléctricos españoles, Endesa, Hidrocanátrico, Iberdrola, Unión Fenosa y Enel-Viesgo, durante el periodo 1998-2001.
- El análisis de las correlaciones simples de los distintos factores y productos con el objetivo de conocer los recursos y productos que han de considerarse en la formulación del modelo.

El sector eléctrico es un factor estratégico en el desarrollo de la industria nacional. Esto se debe, tanto a

la avanzada tecnología que requiere para sus distintas fases de generación, transporte y distribución como, especialmente, a la incidencia que tiene en los costes de producción y por tanto, en la competitividad industrial. Asimismo, existen una serie de condicionantes físicos que afectan a las distintas fases del suministro eléctrico. Así, en primer lugar, la energía eléctrica es una energía secundaria que se deriva de otras fuentes primarias de energía. Ello genera una dependencia, en la fase de generación, de otros recursos tales como el carbón o el fuel-gas, así como de la potencia instalada necesaria para transformar estos recursos. Las fases de transporte y distribución también están sujetas a la existencia de factores que determinen el suministro de energía eléctrica, por lo tanto se pone de manifiesto la necesidad de garantizar que el transporte y distribución se produzca en condiciones de seguridad necesarias, lo que supone una continua labor de mantenimiento en las redes de transporte y distribución.

Todo lo anterior, destaca el hecho de que la producción de energía eléctrica precisa el empleo de tres recursos fundamentales, estos son, capital, trabajo y combustible. Las variables recursos consideradas en el estudio son:

#### **Longitud de las Líneas de Energía de Alta Tensión**

(LAT): es la longitud de las líneas de distribución, tanto las líneas aéreas de alta tensión como las líneas subterráneas de alta tensión, expresado en kilómetros.

#### **Longitud de las Líneas de Energía de Baja Tensión**

(LBT): es la longitud de las líneas de distribución, las líneas aéreas y subterráneas de media y baja tensión, expresado en kilómetros.

**Potencia (PT):** integra la potencia instalada en las centrales que operan dentro del Régimen Ordinario y en Régimen Especial (Cogeneración, Eólica, Biomasa y Residuos Sólidos Urbanos y Minihidráulica Propia), expresada en megavatios.

**Empleados (EMP):** es la plantilla total de las empresas eléctricas, la cual está integrada por titulados superiores, técnicos, administrativos y resto de categorías.

**Carbón-Fuel-Gas (CFG):** representa el consumo total de las principales fuentes de energía primaria, éstas son, carbón, fuel y gas, expresado en millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep).

Por otra parte, todas las actividades que intervienen en el suministro de energía eléctrica tienen una especial repercusión en las variables productos que se detallan a continuación:

**TIEPI (Tiempo de Interrupción Equivalente de la Potencia Instalada, expresado en minutos):** es una me-

dida de la calidad del suministro eléctrico definida desde la perspectiva de la continuidad del suministro hacia los clientes. Este indicador se define como:

$$TIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k P_i H_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

siendo

$P_i$ : potencia instalada en los centros de transformación de media y baja tensión del distribuidor, más la potencia contratada en media tensión, afectada por la interrupción  $i$ -ésima de duración  $H_i$ , expresado en Kilovoltios-Amperios(kVA).

$H_i$ : tiempo de interrupción del suministro que afecta a la potencia  $P_i$ , expresado en horas.

$k$ : número total de interrupciones durante el período considerado.

$n$ : número de centros de transformación.

**Número de Clientes (CLI):** indica la cifra de suministros con tarifas de baja (tensión  $<1KV$ ) y alta (tensión  $>1KV$ ) tensión.

**Energía Facturada (EFACT):** son los gigawatios ( $10^9$  vatios) suministrados por cada una de las compañías eléctricas durante un ejercicio económico.

A pesar de que la calidad del suministro eléctrico se puede medir desde otras perspectivas, tales como la calidad de la onda y calidad de la atención comercial, y que desde la perspectiva de la continuidad del servicio eléctrico existen algunos otros índices como el NIEPI (Número de Interrupciones Equivalentes a la Potencia Instalada en media tensión) y otros utilizados internacionalmente como el SAIDI (System Average Interruption Duration Index), SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) o el CAIDI (Customer Average Interruption Index), en España no es hasta la publicación del Real Decreto 1955/2000, desarrollado por la orden ECO/797/2001 cuando se crea un procedimiento de recogida y cálculo sobre la continuidad del suministro eléctrico que es controlado por la Administración. Por ello, en el trabajo presentado, al no poder tener acceso a mejor representación de la calidad del servicio eléctrico en España en la serie analizada, sólo se ha considerado el indicador TIEPI. En el trabajo de Lopez (2006) se realiza una detallada reflexión acerca de la idoneidad del TIEPI como medida de la continuidad del servicio eléctrico.

El cuadro 1 muestra los valores de los estadísticos descriptivos de los distintos recursos y productos. Se observa una notable dispersión, así como un amplio rango de variación en los valores registrados por las distintas magnitudes evaluadas. En términos generales, se aprecia una pauta de crecimiento variable de los recursos y productos a lo largo del período analizado.

**CUADRO 1**  
**RESUMEN DE ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS**

		<b>LBT</b>	<b>LAT</b>	<b>PT</b>	<b>EMP</b>	<b>CFG</b>	<b>TIEPI</b>	<b>EFACT</b>	<b>CLI</b>
1998	Media	114974	12169	9324	4400	15752	2.55	33958	4393167
	Desv. Típ	98394	10927	8513	4475	17587	0.67	28779	3886711
	Máximo	266171	26805	22523	13042	50558	3.45	74044	9627000
	Mínimo	13309	974	1127	1142	3540	1.66	3884	478745
1999	Media	116250	12280	9426	7281	18964	2.90	36482	4479751
	Desv. Típ	99403	10997	8448	6514	18266	0.63	30973	3985772
	Máximo	269008	26953	22576	18199	54898	3.76	79892	9857000
	Mínimo	13541	977	1129	1348	3843	2.28	3567	489750
2000	Media	119109	12474	9507	6692	28288	2.72	38852	4614735
	Desv. Típ	102741	11184	8534	6115	23003	0.40	32534	4124693
	Máximo	278756	27591	22899	17274	57473	3.25	83783	10246000
	Mínimo	13938	977	1145	1283	4024	2.25	3451	500675
2001	Media	121801	12585	9480	6117	16688	2.81	40706	4718295
	Desv. Típ	105330	11284	8474	5207	19673	0.62	33699	4219985
	Maximo	287039	27879	22708	14745	55465	3.59	87307	10487228
	Mínimo	14352	921	1150	1298	2745	1.82	3525	511038

FUENTE: Informes anuales de las empresas eléctricas.

La elección de los recursos y productos integrantes de los distintos modelos se ha realizado a partir del análisis de correlaciones simples entre los mismos. El análisis de las correlaciones (cuadro 2) muestra, en términos generales, una relación intensa entre todos los pares de recurso-producto, con la excepción del TIEPI que se presenta como una variable incorrelada frente a las demás. El interés de incorporar la variable TIEPI esta motivado por la importancia que esta variable ha adquirido como estimador de la calidad del servicio eléctrico. Los resultados obtenidos evidencian la adecuada selección de los factores y productos, no debiendo ser muy selectivo con los recursos elegidos cuando se intenta explicar la variación de algunos de los productos. Esta elección no provocará fuertes discriminaciones a la hora de elegir entre los distintos recursos y/o productos que formarán parte de los modelos que se construirán posteriormente.

El sector eléctrico tiene una característica importante relacionada con la dimensión de las plantas generadoras como es la potencial relevancia de las economías de escala; de esta forma, el modelo, bajo la técnica del análisis envolvente de datos, considerado en el estudio es el modelo BCC (Banker *et al.* (1984)) de retornos a escala variables. La razón de esta decisión estriba en la propia naturaleza de las empresas eléctricas que no están dotadas de las mismas capacidades y dimensiones, de esta forma el modelo sugerido tendrá que permitir la existencia de rendimientos a escala variable. Desde el punto de vista de la evaluación de la eficiencia, se ha optado por elegir la orientación output, ya que, en el caso de considerarse con orientación input, existen importantes restricciones de tiempo y coste para llevar a cabo las medidas que proponga el procedimiento por parte de las empresas, no siendo del todo objetivo. Además, el sector eléctrico español se caracteriza

por ser un sector intensivo en capital y con inversiones a largo plazo. El enfoque elegido evalúa la medida en que las unidades menos eficientes se acercan a la frontera de eficiencia, la cual está definida por las empresas más eficientes a lo largo de todo el proceso analizado.

#### Eficiencia técnica en el sector eléctrico español

Con el objetivo de conocer, de una forma más detallada, la contribución que desde el punto de vista de la eficiencia ha realizado cada uno de los factores productivos, el estudio se ha desagregado según el tipo de factor considerado. Así, se han construido distintos modelos, correspondientes a cada una de las posibles combinaciones de los cinco recursos y tres productos, tal como refleja en el cuadro 3.

Los datos correspondientes a cada una de las variables por grupo eléctrico permiten la creación de una frontera para cada modelo. La ordenación de estos datos y su tratamiento estadístico permite la obtención de los resultados que se detallan en las cuadro 4 y 5, donde se exponen los valores, en promedio, del Índice de Malmquist Generalizado y sus componentes para cada uno de los períodos y las tasas de productividad para el conjunto del periodo analizado.

Los resultados obtenidos revelan que las empresas eléctricas a lo largo del periodo estudiado han actuado y crecido, por término medio en el 2,6% para el periodo 1998-2001, siendo el factor principal de este crecimiento el cambio tecnológico. Por otra parte, se observa una contribución desfavorable de las eficiencias de escala hacia el crecimiento productivo de las compañías del sector. Este último aspecto es difícil de controlar por parte de las empresas, por estar basado en las distintas perturbaciones del mer-

cado. Desde el punto de vista temporal, este ritmo de crecimiento no se ha mantenido durante todos los años, así se observan síntomas de desaceleración en el crecimiento durante el periodo 1999-2000, que ha sido superados por los buenos resultados alcanzados en el periodo 2000-2001.

Desde el punto de vista, de cada uno de los modelos analizados se observan también diferencias entre los mismos. Los modelos que han contribuido a esta mejora son fundamentalmente aquellos donde no interviene la variable TIEPI, el sector ha visto desacelerada su productividad por los resultados alcanzados respecto a la calidad del servicio eléctrico, así el crecimiento alcanzado, por término medio, por los modelos 1-10 ha sido del 2.5% frente al 2.8% obtenido por los modelos 11-15. Un análisis más detallado evidencia la mejora que respecto a esta variable deben acometer las distintas empresas del sector.

### CONCLUSIONES ↓

Uno de los objetivos de las principales empresas eléctricas analizadas es conocer las tendencias futuras que puedan tener lugar ante un mercado eléctrico completamente liberalizado, con el fin de detectar diferencias significativas en sus niveles de productividad. El estudio de la eficiencia a través del la técnica DEA proporciona información al sector eléctrico en España y una oportunidad para mejorar su gestión, a través de la comparación de los factores productivos (recursos) y los productos. Esta información es útil para detectar puntos anómalos en la gestión, así como también sirve de guía para detectar posibles áreas y servicios ineficientes. En este sentido, el índice de Malmquist proporciona una medida de la variación de la productividad a lo largo del tiempo.

Tras el análisis practicado, mediante el uso de esta aproximación a las principales compañías del sector eléctrico español, se puede decir la evolución de la productividad del sector, en términos generales, es creciente hasta el año 2001 (último año analizado), en pleno periodo de liberalización del sector y en un marco de significativa desaceleración de la economía internacional. De esta forma, el sector es ahora más eficiente en un mercado de competencia del que lo era en un mercado regulado por el Estado. En el estudio se ha podido observar que, respecto a la calidad del servicio eléctrico (medido por el TIEPI) las compañías del sector tienen una tarea pendiente en cuanto a su mejora, manifestándose la preocupación que deben tener dichas compañías hacia la red de distribución de electricidad actual. Este hecho puede ser uno de los motivos por los que el sistema eléctrico español se ha vuelto más vulnerable en los últimos años.

**CUADRO 2  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON**

Recursos/productos	TIEPI	EFACT	CLI
LAT	0.467	0.993*	0.998*
LBT	0.635	0.999*	0.991*
PTI	0.422	0.986*	0.986*
EMP	0.513	0.857*	0.852*
CFG	0.477	0.630*	0.610*

\* Los resultados son significativos al nivel 0.01 (bilateral).

**CUADRO 3  
MODELOS 1 RECURSO-2 PRODUCTOS**

Modelo	Imputs	Outputs
1	LAT	TIEPI EFACT
2	LBT	TIEPI EFACT
3	PT	TIEPI EFACT
4	EMP	TIEPI EFACT
5	CFG	TIEPI EFACT
6	LAT	TIEPI CLI
7	LBT	TIEPI CLI
8	PT	TIEPI CLI
9	EMP	TIEPI CLI
10	CFG	TIEPI CLI
11	LAT	EFACT CLI
12	LBT	EFACT CLI
13	PT	EFACT CLI
14	EMP	EFACT CLI
15	CFG	EFACT CLI

Con estos resultados se concluye que, durante los años estudiados, en un entorno de incertidumbre, descenso en el ritmo de crecimiento de la actividad económica y una acusada volatilidad en el precio del crudo, las empresas eléctricas han trabajado en eficiencia, llevando a cabo las estrategias que, desde el punto de vista empresarial, han considerado oportunas. A pesar de la complejidad y los efectos que han producido la separación jurídica de las actividades de generación y distribución, este hecho no ha impedido que el sector se haya adaptado y conseguido trabajar en eficiencia.

(\*) Las autoras agradecen las sugerencias y comentarios de los revisores anónimos de la revista.

**CUADRO 4**  
**INDICADORES DE EFICIENCIA, EXPRESADOS EN VALOR ABSOLUTO**

Modelo	<i>t</i>	<i>H'</i>	<i>F'</i>	<i>M'</i>	<i>E'</i>	<i>G'</i>
1	98-99	0.996	0.999	0.994	0.990	0.985
	99-00	0.998	1.002	1.000	0.997	0.997
	99-01	1.008	1.004	1.012	1.006	1.018
2	98-99	0.994	0.982	0.977	0.995	0.972
	99-00	0.998	1.017	1.016	0.996	1.012
	00-01	1.020	1.023	1.044	1.002	1.046
3	98-99	0.990	1.000	0.990	0.997	0.987
	99-00	0.988	1.003	0.991	1.009	1.000
	00-01	1.002	1.004	1.006	1.020	1.026
4	98-99	0.992	1.000	0.992	0.996	0.988
	99-00	0.991	0.999	0.990	0.997	0.987
	00-01	1.009	1.000	1.009	1.009	1.018
5	98-99	0.985	0.991	0.976	0.996	0.972
	99-00	0.984	0.997	0.982	0.999	0.981
	00-01	0.988	0.999	0.987	0.999	0.985
6	98-99	0.998	1.005	1.003	0.998	1.001
	99-00	1.008	0.998	1.006	0.996	1.002
	00-01	1.015	1.004	1.019	1.110	1.131
7	98-99	0.997	0.991	0.989	0.996	0.985
	99-00	0.998	0.996	0.994	1.010	1.004
	00-01	1.021	1.022	1.043	1.010	1.053
8	98-99	0.995	0.996	0.991	0.999	0.989
	99-00	0.995	1.001	0.996	0.997	0.994
	00-01	1.013	1.000	1.013	1.007	1.020
9	98-99	0.983	0.999	0.982	0.896	0.880
	99-00	0.973	0.997	0.970	0.934	0.906
	00-01	0.990	1.020	1.010	0.953	0.962
10	98-99	0.989	0.998	0.988	1.004	0.992
	99-00	0.990	1.010	1.000	0.999	0.999
	00-01	0.992	0.999	0.991	0.993	0.984
11	98-99	0.997	0.996	0.993	1.005	0.998
	99-00	1.010	0.995	1.005	1.005	1.010
	00-01	1.006	1.041	1.048	0.996	1.044
12	98-99	1.002	0.997	0.999	0.980	0.979
	99-00	1.004	1.001	1.005	0.997	1.002
	00-01	1.013	1.008	1.021	1.010	1.031
13	98-99	0.995	1.000	0.995	1.000	0.995
	99-00	0.994	1.001	0.995	1.005	0.999
	00-01	1.009	1.007	1.016	1.044	1.061
14	98-99	0.999	1.022	1.021	0.995	1.016
	99-00	1.100	1.005	1.105	0.993	1.098
	00-01	1.009	1.101	1.111	1.007	1.119
15	98-99	0.999	0.990	0.989	0.997	0.986
	99-00	0.997	0.994	0.991	0.991	0.982
	00-01	1.009	0.990	0.999	1.010	1.009

FUENTE: Informes anuales de las empresas eléctricas.

**CUADRO 5**  
**VALORES MEDIOS ANUALES DEL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD DE MALMQUIST Y SUS COMPONENTES**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>H'</i>	1.001	1.004	0.993	0.997	0.986	1.007	1.005	1.001	0.982	0.990	1.004	1.006	0.999	1.036	1.002
<i>F'</i>	1.002	1.008	1.002	1.000	0.996	1.002	1.003	0.999	1.005	1.002	1.011	1.002	1.003	1.043	0.991
<i>M'</i>	1.002	1.012	0.996	0.997	0.981	1.010	1.009	1.000	0.987	0.993	1.015	1.008	1.002	1.079	0.993
<i>E'</i>	0.998	0.998	1.009	1.001	0.998	1.034	1.005	1.001	0.928	0.999	1.002	0.996	1.016	0.998	0.999
<i>G'</i>	1.000	1.010	1.004	0.998	0.979	1.045	1.014	1.001	0.916	0.992	1.017	1.004	1.019	1.078	0.992

FUENTE: Informes anuales de las empresas eléctricas.

## BIBLIOGRAFÍA ↓

- AGRELL, P. J. (1998): «Efficiency Measurement and Benchmarking of Nordic Electricity Distributors», Linköping Institute of Technology, Department of Production Economics, Working Paper WP-246.
- AROCENA, P. y RODRIGUEZ, L. (1998): «Incentivos en la Regulación del Sector Eléctrico Español (1988-1995)», *Revista de Economía Aplicada*, 18, 4, pp. 61-84.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A. y COOPER, W. W. (1984): «Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis», *Management Science*, 30, 9, pp. 1078-1092.
- CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R. y DIEWERT, W. E. (1982): «The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity», *Econometrica*, 50, 6, pp. 1393-1414.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W. y RHODES, E. (1978): «Measuring the efficiency of decision making», *European Journal of Operational Research*, 2, pp. 429-444.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS, M. y ZHANG, Z. (1994): «Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Changes in Industrialised Countries», *American Economic Review*, 84, pp. 66-83.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LINDGREN, B. y ROOS, P. (1995): «Productivity development in Swedish hospitals: A Malmquist output index approach, en A. Charnes, W. W., Cooper, A. Lewin and L. Seiford (eds.), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London, 1995.
- FORSUND, F. R. y KITTELSEN A. C. (1998): «Productivity Development of Norwegian Electricity Distribution Utilities», *Resources and Energy Economics*, 20, pp. 207-224.
- GRIFELL-TATJÉ, E. y LOVELL, C. A. K. (1995): «A note on the Malmquist productivity index», *Economics Letters*, 47, pp. 169-175.
- GRIFELL-TATJÉ, E. y LOVELL, C. A. K. (1997): «The Sources of Productivity Change in Spanish Banking», *European Journal of Operational Research*, 98, 2, pp. 364-380.
- HJALMARSSON, L. y VEIDERPASS, A. (1992): «Productivity in Swedish Electricity Retail Distribution», *Scandinavian Journal of Economics*, 94, supplement, pp. 193-205.
- LO, FENG-YU, CHIEN CHEN-FU y LIN, J. T. (2001): «A DEA study to evaluate the relative efficiency and investigate the district reorganization of the Taiwan Power Company», *IEE Transactions on Power Systems*, 16, 1, pp. 170-178.
- LÓPEZ, J. (2006): «La calidad del suministro eléctrico y la regulación de los ingresos de las actividades de red», *Hacienda Pública*, 176, pp. 43-71.
- MALMQVIST, S. (1953): «Index numbers and indifference surfaces», *Trabajos de Estadística*, 4, pp. 209-232.
- MILIOSIS, A. P. (1992): «Data Envelopment Analysis Applied to Electricity Distribution Districts», *Journal Operational Research Society*, 43, 5, pp. 549-555.
- PAHWA, A.; FENG, XM. y LUBKEMAN, D. (2003): «Performance evaluation of electric distribution utilities based on data envelopment analysis», *IEE Transactions on Power Systems*, 18, 1, pp. 400-405.
- RĄCZKA, J. (2001): «Explaining the Performance of Heat Plants in Poland», *Energy Economics*, 23, pp. 355-370.
- RAVELO, T. (1991): «Análisis de la estructura productiva y del rendimiento técnico del sector eléctrico Español 1983-88», *Documentos de Trabajo de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, Universidad de La Laguna, 27.
- RESENDE, M. (2002): «Relative Efficiency Measurement and Prospects for Yardstick Competition in Brazilian Electricity Distribution», *Energy Policy*, 30, 8, pp. 637-647.
- SCULLY, G. W. (1998): «Reform and Efficiency Gains in the New Zealand Electrical Supply Industry», *Journal of Productivity Analysis*, 11, pp. 133-147.
- SHEPARD, R. (1970): *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton: Princeton University Press.
- TÖRNQVIST, L. (1936): «The Bank of Finland's consumption price index», *Bank of Finland Monthly Bulletin*, 10, pp. 1-8.
- ZHANG, Y. y BARTELS (1998): «The Effect of Sample Size on the Mean Efficiency in DEA with an application to Electricity Distribution in Australia, Sweden and New Zealand», *Journal of Productivity Analysis*, 9, pp. 187-204.