

Universidad de Cantabria, Universidad de Oviedo y Universidad del País Vasco

PROGRAMA DE DOCTORADO EN ECONOMÍA: INSTRUMENTOS
DEL ANÁLISIS ECONÓMICO



TESIS DOCTORAL

**EFICIENCIA EN EL SECTOR ENERGÉTICO
EUROPEO**

Autor: Dña. Marta de la Fuente Rentería

Directores:

Dr. D. Pablo Coto Millán

Dra. Dña. Ingrid Mateo Mantecón

Santander, Septiembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

No podría comenzar el texto de esta tesis sin agradecer su colaboración a todas las personas que, de una u otra manera, me han brindado su ayuda y apoyo desde que tomé la decisión de comenzar esta aventura.

En primer lugar, quisiera dar las gracias a mis directores de tesis, los profesores Dr. D. Pablo Coto Millán y a la Dra. D. Ingrid Mateo Mantecón. Espero algún día poder devolveros al menos una parte del apoyo y la ayuda con la que he contado durante este tiempo.

Mi más sentido agradecimiento a los integrantes del Departamento de Economía y a la Universidad de Cantabria, que me acogieron y colaboraron tanto en mi formación académica y profesional como en la personal. Quisiera destacar a los profesores Dr. D. Xosé Luís Fernández y Dra. D. Soraya Hidalgo, por su calidad docente y humana, y porque su compañerismo ha enriquecido este trabajo.

No puedo ni quiero olvidar a mis compañeros de despacho, Ana, Gonzalo y Luis. Hemos compartido en este tiempo la experiencia, charlas y nuestros planes de futuro. Sin duda no habría sido igual sin vosotros.

También agradecer la financiación recibida del Programa de Personal Investigador en formación predoctoral de la Universidad de Cantabria, cofinanciado por el Gobierno de Cantabria.

Aprovecho para agradecer también a esas personas que, fuera del ámbito universitario, han formado parte de mi vida en estos últimos años. En especial a Javier, por tu paciencia y por tantos consejos que me han ayudado a crecer

personal y profesionalmente. A Esther, Sergio, Natalia y Raquel, porque no podré olvidar el apoyo que habéis supuesto en los últimos meses. Y al resto de compañeros y amigos, sin duda, gracias.

Por último, el agradecimiento más especial es para mi padre, mi madre, mi hermana, mis primos (que reconozco como hermanos), Carlos y el resto de mi pequeña gran familia. Gracias por vuestro apoyo, vuestra ayuda, vuestras risas, vuestras lágrimas, y por estar siempre a mi lado incondicionalmente. Gracias a los que estáis y también a los que os habéis ido, porque en nuestra memoria siguen momentos y detalles que hacen que sigáis presentes, y que de alguna manera hayáis formado parte de este camino.

Marta

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1. Introducción.....	3
1.1 Evolución del sector eléctrico	3
1.2 La oferta del servicio: Análisis de eficiencia.....	7
CAPÍTULO 2.....	11
DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA DE LAS COMPAÑÍAS EUROPEAS DEL SECTOR ELÉCTRICO: 2005-2014.....	11
2.1 Introducción	13
2.2 Revisión literaria	14
2.3 Metodología.....	15
2.4 Datos.....	19
2.5 Resultados y discusión.....	21
2.5.1 Especificación del modelo.....	22
2.5.2 Frontera de producción.....	28

2.5.3	Determinantes de ineficiencia.....	28
2.6	Conclusiones	32
CAPÍTULO 3.....		35
LA PARADOJA DE LA REGULACIÓN ENERGÉTICA: EVIDENCIA DE LA INEFICIENCIA DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN EUROPA		35
3.1	Introducción	37
3.2	Revisión literaria	39
3.3	Datos.....	40
3.4	Resultados y discusión.....	42
3.4.1	Especificación del modelo.....	43
3.4.2	Frontera de producción.....	44
3.4.3	Efecto de la producción nuclear	48
3.5	Conclusiones	53
CAPÍTULO 4.....		57
LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS ESPAÑOLAS: ¿PROMUEVEN LAS AUTORIDADES LA EXCELENCIA AMBIENTAL?		57
4.1	Introducción	59
4.2	Regulación	61
4.3	Revisión literaria	63
4.4	Metodología	65
4.4.1	Frontera de producción e índices de eficiencia	66
4.4.2	Determinantes de eficiencia.....	67

4.5	Datos.....	67
4.6	Resultados y discusión.....	70
4.7	Conclusiones	74
CAPÍTULO 5.....		79
DESREGULACIÓN ENERGÉTICA EN HIDROCARBUROS: ANÁLISIS DE IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE LOS PRINCIPALES PUERTOS IMPORTADORES EN ESPAÑA (1986-2013)		79
5.1	Introducción	81
5.2	Marco regulatorio en España.....	83
5.2.1	Contexto histórico.....	83
5.2.2	Reformas legislativas.....	83
5.3	Revisión literaria	86
5.4	Metodología	90
5.5	Datos.....	94
5.6	Resultados y discusión.....	97
5.6.1	Especificación empírica	98
5.6.2	Frontera de producción.....	99
5.6.3	Determinantes de ineficiencia.....	100
5.7	Conclusiones	106
CAPÍTULO 6.....		109
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....		109
6.	Resumen y conclusiones	111

REFERENCIAS	117
APÉNDICES	139
APÉNDICE A.....	141
APÉNDICE B.....	144

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1	Estadísticos de descriptivos	21
Cuadro 2.2	Listado de variables determinantes consideradas	23
Cuadro 2.3	Resultados de la frontera de producción estocástica	25
Cuadro 2.4	Resultados de la función de determinantes de ineficiencia	26
Cuadro 3.1	Estadísticos descriptivos	41
Cuadro 3.2	Resultados de estimación. Frontera de producción	46
Cuadro 3.3	Resultados de estimación. Función de efectos de ineficiencia	47
Cuadro 4.1	Estadísticos descriptivos	69
Cuadro 4.2	Resultados de la regresión Tobit (segunda etapa)	72
Cuadro 4.3	Resultados de la regresión Tobit (segunda etapa considerando proyectos basados en mecanismos de flexibilización del Protocolo de Kyoto)	74
Cuadro 5.1	Estadísticos descriptivos	97
Cuadro 5.2	Frontera de posibilidades de producción	100
Cuadro 5.3	Resultados de estimación de los efectos de ineficiencia	101
Cuadro A.1	Generación de electricidad: Ranking de las 25 empresas más eficientes	141
Cuadro A.2	Transporte de electricidad: Ranking de las 25 empresas más eficientes	142
Cuadro A.3	Distribución de electricidad: Ranking de las 25 empresas más eficientes	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Reparto del consumo 2005	4
Figura 1.2	Reparto del consumo 2012	4
Figura 1.3	Mix energético 2005	6
Figura 1.4	Mix energético 2012	6
Figura 3.1	Eficiencia técnica media por países: < 10 empleados	49
Figura 3.2	Nuclear vs no-nuclear: < 10 empleados	49
Figura 3.3	Eficiencia técnica media por países: 10-49 empleados	50
Figura 3.4	Nuclear vs no-nuclear: 10-49 empleados	50
Figura 3.5	Eficiencia técnica media por países: 50-249 empleados	51
Figura 3.6	Nuclear vs no-nuclear: 50-249 empleados	51
Figura 3.7	Eficiencia técnica media por países: > 249 empleados	52
Figura 3.8	Nuclear vs no-nuclear: > 249 empleados	52
Figura 4.1	Evolución del precio de los permisos de emisión	70
Figura 5.1	Mapa de refinerías en España	95
Figura 5.2	Evolución de la eficiencia técnica (1986-2013)	103
Figura 5.3	Evolución de la eficiencia técnica por Autoridad Portuaria (1986-2013)	105

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

Todas las economías del mundo son dependientes de la energía, y en particular de la electricidad (Chen y Wu, 2017). La factura eléctrica de compañías y hogares es de importe elevado y supone una alta proporción de sus costes y de sus ingresos. Pero la dependencia de la electricidad no es únicamente en términos de costes, sino del mismo estilo de vida. Por este motivo, en la literatura se puede encontrar una gran variedad de estudios del tema desde las perspectivas de la producción (oferta) y el consumo (demanda), no solo en términos técnicos, sino también en términos económicos.

1.1 Evolución del sector eléctrico

La evolución que el empleo de la energía ha experimentado en el período 2005-2012 se muestra en las figuras 1.1 y 1.2, con la distribución del consumo por sectores de uso en Europa¹.

Se observa una reducción en la cuota de consumo de sector industrial (grupo mayoritario de consumo) del 41% al 37%, que podría deberse a la incorporación de pequeños equipos de generación de electricidad para autoconsumo así como a los efectos que la crisis económica mundial ha tenido en su producción.

¹ Análisis realizado sobre países europeos, a excepción de los euroasiáticos (Armenia, Azerbaiyán, Chipre, Georgia, Kazajistán, Rusia y Turquía) por no haber sido posible encontrar datos referentes a la parte europea.

Figura 1.1 Reparto del consumo 2005

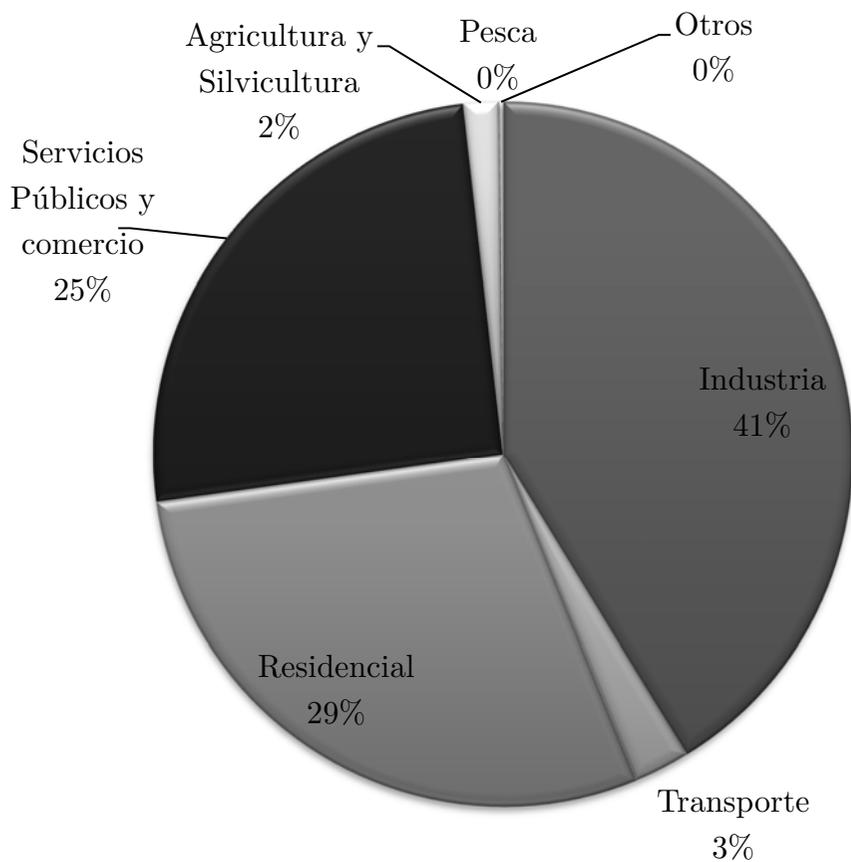
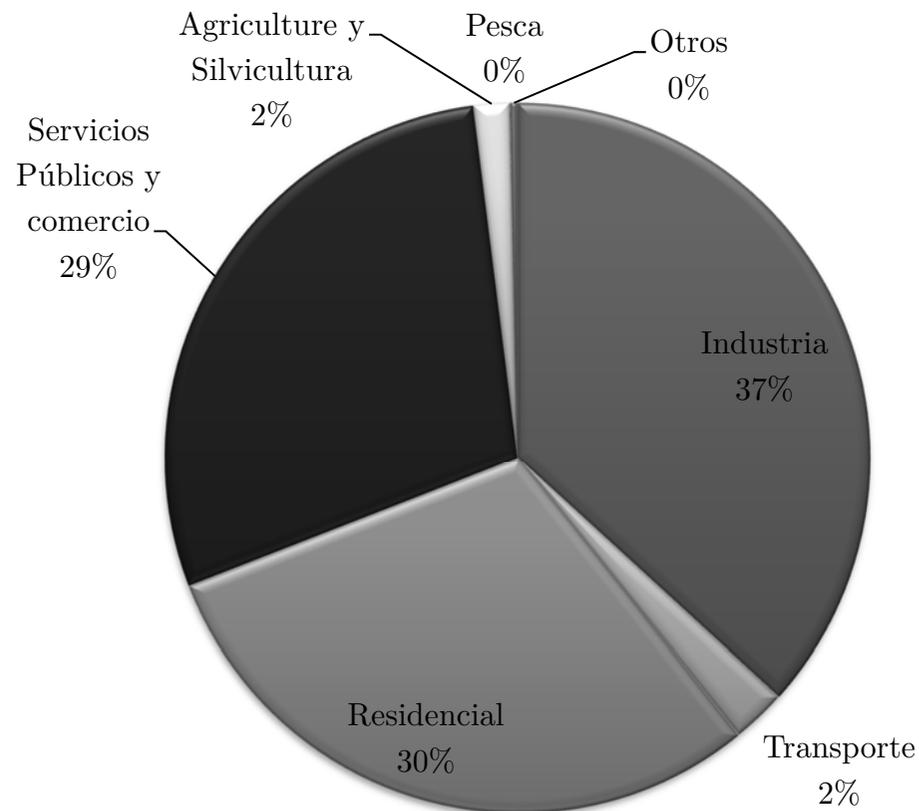


Figura 1.2 Reparto del consumo 2012



Fuente: Elaboración propia a partir de International Energy Agency (IEA, 2015).

En el ámbito residencial, el consumo de energía se ha visto incrementado en un 4% en el mismo período (pasando la cuota de empleo de energía en este grupo del 29% al 30%) a pesar de la evolución de electrodomésticos y sistemas de iluminación hacia otros más eficientes, de las mejoras introducidas en los sistemas de calefacción, refrigeración y materiales constructivos, y de un incremento de la población de aproximadamente un 1% (IEA, 2015).

Por su parte, en el sector comercial y de servicios, la cuota de consumo de energía se ha visto incrementada del 25% al 29%, mientras en el sector del transporte (con la reciente incorporación de los motores híbridos y eléctricos en los vehículos, disminuyendo el consumo de combustibles fósiles en favor del aumento del consumo eléctrico) la cuota de consumo sobre el total se ha visto reducida del 3% al 2%, así como el consumo absoluto (IEA, 2015).

De la observación de las figuras 1.3 y 1.4 respecto a la composición del mix energético del sector eléctrico en Europa se puede extraer información significativa en relación a su evolución en el tiempo (IEA, 2015). La producción eléctrica aumentó entre los años 2005 y 2012, al igual que el consumo. Por su parte, la producción de electricidad procedente de fuentes de energía fósiles (carbón, petróleo, y gas), así como en las centrales de producción nuclear, se ha visto reducida en término medio, mientras la producción procedente del resto de instalaciones a partir de fuentes renovables ha visto incrementada su producción de manera significativa, tanto en términos absolutos como en términos relativos.

Figura 1.3 Mix energético 2005

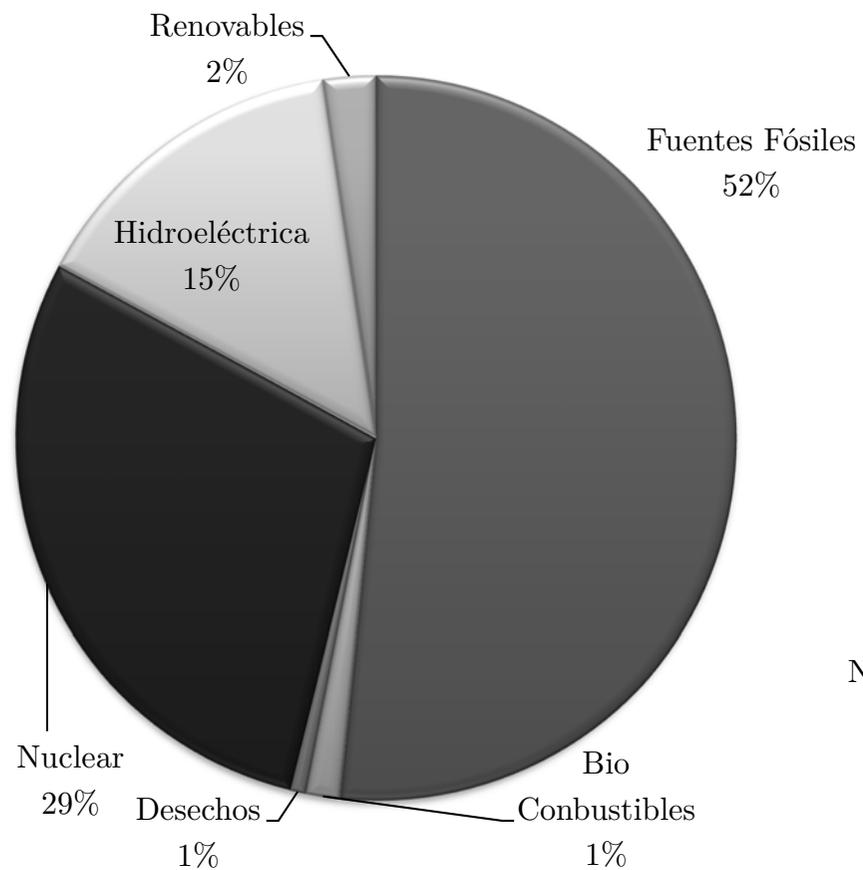
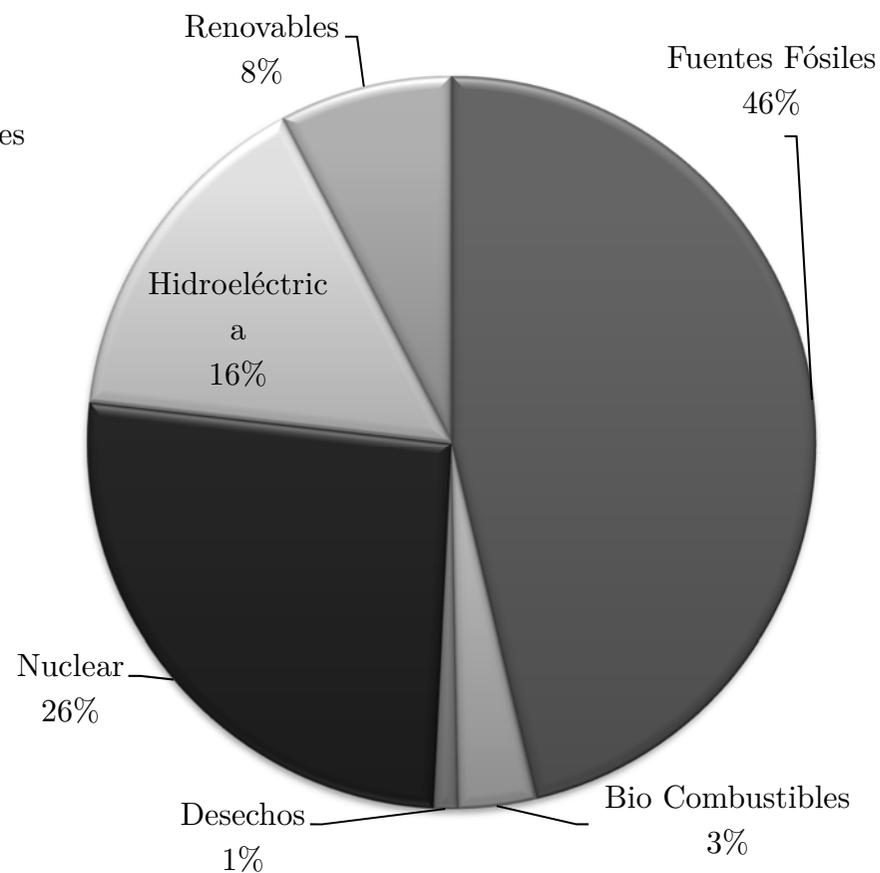


Figura 1.4 Mix energético 2012



Fuente: Elaboración propia a partir de International Energy Agency (IEA, 2015).

La evolución del mix energético global de los países europeos tiene su origen en la orientación hacia el desarrollo sostenible de las actividades productivas en general, posicionando las energías renovables en un objetivo principal de conocimiento y desarrollo.

El grado de dependencia eléctrica de los países europeos ha sufrido una importante variación. Los datos muestran una importación neta de electricidad en el año 2005 de 46128GWh, que se ha visto paulatinamente reducida hasta valores casi nulos en el año 2012 (IEA, 2015).

Del mismo modo, las pérdidas de energía se han visto reducidas en el período 2005-2012 en una cuantía próxima al 4% pese al incremento de las cantidades de energía eléctrica generada y consumida. Dado que la mayor parte de las pérdidas de la energía eléctrica generada se produce en las redes de transporte y distribución de electricidad, estas actividades son clave para conseguir su reducción y, en definitiva, incrementar los niveles de eficiencia del conjunto del sector eléctrico.

1.2 La oferta del servicio: Análisis de eficiencia

Uno de los objetivos principales en materia de energía actualmente es la eficiencia energética tomando en consideración el medio ambiente (Chen y Wu, 2017; Ponce-Jara et al., 2017; Yang et al., 2015), y todos los involucrados en el servicio tienen margen de mejora. En un extremo de la red, los consumidores (industrias y hogares) deben tratar de reducir su consumo mediante el empleo de maquinaria y productos más eficientes, o simplemente desconectando los equipos cuando no están en uso. En el centro, las compañías de transporte y distribución deben tratar de reducir las pérdidas y diseñar redes eficientes. Por su parte, las empresas de

producción de energía investigan en busca de fuentes primarias y sistemas de transformación más eficientes y menos contaminantes. El papel de los reguladores también resulta esencial en la búsqueda de un sistema eléctrico más eficiente, que pueden fomentar las actividades de innovación y promover el consumo y la producción de electricidad eficientes (Ponce-Jara et al., 2017; Şirin, 2017).

En este sentido, los análisis de eficiencia desde el lado de la oferta del servicio permiten evaluar los factores que afectan a las empresas (o unidades de análisis) y buscar la senda hacia un sistema de gestión eficiente, y, por tanto, adaptar su conducta para mejorar sus niveles de producción o servicio. Por otro lado, el análisis de los determinantes de la eficiencia permitirá al regulador detectar lagunas (gaps) y legislar conforme a ello.

Al objeto de conocer los factores que determinan la eficiencia técnica de las empresas participantes en el sector de la electricidad, evaluar el impacto de medidas externas y conocer los efectos derivados de este sector en otros ámbitos de la economía, se desarrolla esta tesis, que se divide en seis capítulos en los que se aborda el tema de estudio desde un punto de vista empírico.

Siguiendo este primer capítulo introductorio, el segundo contiene un análisis de eficiencia técnica de las empresas europeas dedicadas a la producción, transporte y distribución de energía eléctrica en el período de 2005 a 2014. En este capítulo se analizan los factores determinantes de tales niveles de eficiencia, tratando de observar el efecto que la antigüedad, la diversificación de la actividad empresarial a otros sectores de actividad, el tamaño, la deuda o la cotización en bolsa tienen en su eficiencia.

El tercer capítulo contiene un análisis más específico en el que se trata de analizar el efecto de la regulación de la energía procedente de fuentes nucleares. De los resultados alcanzados para el período de 2005 a 2014 se evidencia el impacto significativo de la producción de energía a partir de fuentes nucleares en los niveles de eficiencia de las compañías de generación instaladas en los mismos países.

En el cuarto capítulo se analiza la influencia que la regulación del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero ha tenido en el comportamiento ambiental de las compañías eléctricas españolas en el período de 2008 a 2016. De la lectura de este estudio se puede concluir que el sistema de comercio ha afectado la eficiencia de las empresas, pero su regulación precisa un mayor desarrollo.

El quinto capítulo evalúa la influencia de la desregulación e introducción a la competencia en materia de hidrocarburos en la eficiencia técnica de los puertos españoles de importación de productos petrolíferos y derivados para el período 1986-2013. Este capítulo contribuye a la literatura estableciendo una correlación directa entre las reformas en hidrocarburos y la eficiencia de los puertos.

Finalmente, el sexto capítulo contiene el resumen y conclusiones generales alcanzadas tras la elaboración de esta tesis para el sector de la energía.

CAPÍTULO 2

DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA DE LAS COMPAÑÍAS EUROPEAS DEL SECTOR ELÉCTRICO: 2005-2014²

² Este capítulo es una versión depurada de Coto-Millán, de la Fuente y Fernández (2018)

2.1 Introducción

Como se señala en el capítulo introductorio, la creciente dependencia de las economías de la electricidad (Chen y Wu, 2017) conduce a la necesidad de optimizar los procesos productivos de las empresas que ofrecen el servicio. Así, las empresas de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad buscan vías para tratar de mejorar sus resultados en términos tanto de beneficios como de producción.

Desde la perspectiva de la economía, evaluar los factores determinantes de la eficiencia de las compañías del sector permite conocer qué aspectos son relevantes para alcanzar los mayores niveles de producción posibles y en qué sentido pueden adaptar su conducta o sistema productivo.

Con el objetivo de evaluar los determinantes de eficiencia técnica de las empresas del sector eléctrico europeo se emplea una metodología paramétrica de frontera estocástica de producción a una muestra de compañías de generación, transporte y distribución en el período comprendido entre 2005 y 2014.

El resto del capítulo se estructura como sigue: en el segundo apartado se revisa la literatura existente en materia de eficiencia desarrollada en el sector eléctrico. El tercer apartado resume las principales características del modelo teórico empleado, y el cuarto describe los datos empleados en el análisis empírico y su tratamiento. Los apartados quinto y sexto muestran los resultados obtenidos y las principales conclusiones de la investigación.

2.2 Revisión literaria

La aplicación de los análisis de eficiencia al sector eléctrico es de gran interés dada su naturaleza de servicio público y dada la alta dependencia para el desarrollo económico de países (o regiones). Por este motivo, se han desarrollado numerosos estudios en este campo.

Algunos estudios han analizado la eficiencia técnica del sector eléctrico, encontrando importantes diferencias entre países (Gómez-Calvet et al., 2014; Goto y Tsutsui, 1998). También se ha destacado el exceso de capital (Goto y Tsutsui, 1998), la incapacidad de ajustar los inputs (quasi-fijos) al nivel óptimo de manera inmediata (Navarro y Torres, 2006; Nemoto y Goto, 2003) y trabajo (Thakur, Deshmukh y Kaushik, 2006) como fuentes de ineficiencia, mientras se ha señalado que el trabajo cualificado incrementa los niveles de eficiencia (Gharneh et al., 2014).

Otras investigaciones han analizado la influencia de la antigüedad de las compañías en su eficiencia, aunque los autores no han alcanzado consenso al respecto. Así, Gharneh et al. (2014) encontraron que las empresas más antiguas son más eficientes, mientras Thakur, Deshmukh y Kaushik (2006) y Chang, Chen y Chen (2009) observaron el efecto opuesto, o sin efecto como en la investigación de Rączka (2001). Del mismo modo, el efecto del mayor tamaño de la empresa ha mostrado impacto positivo en algunos estudios (Bai y Song, 2008; Chen, 2002; Tao, Guo y Yang, 2008), y negativo en otros (Thakur, Deshmukh y Kaushik, 2006).

La desregulación ha permitido a las empresas del sector diversificar su actividad tanto hacia negocios relacionados (por ejemplo, el gas) como otros no relacionados

(telecomunicaciones). En este sentido, Wilson (2002) encontró efectos positivos de la diversificación de actividades justificados en sinergias, si bien Sueyoshi, Goto y Shang (2009) o Delmas y Tokat (2005) observaron el efecto opuesto.

El nivel de deuda es un factor clave en industrias intensivas en capital como el caso de estudio, donde los activos fijos juegan un papel clave. A pesar de esto, la literatura económica en este aspecto no es amplia, y será abordado (entre otros) en este capítulo.

2.3 Metodología

Desde los estudios pioneros de Farrell (1957) introduciendo la función de producción ha surgido gran cantidad de literatura orientada al estudio de la eficiencia técnica de las unidades de producción. Dada la frontera de producción (el nivel máximo de producción hipotéticamente alcanzable para cada combinación de factores productivos), la eficiencia técnica puede medirse como el ratio de la producción realmente obtenida y la máxima alcanzable (Battese y Coelli, 1988) empleando metodologías de frontera determinística o estocástica.

Ambas metodologías, determinística y estocástica, presentan tanto ventajas como desventajas de cálculo y resultados. Una metodología determinista de análisis de envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés “Data Envelopment Analysis”) no precisa la previa elección de una forma funcional para la definición de la frontera de producción, mientras las fronteras estocásticas permiten separar el componente de error aleatorio de la regresión (factores fuera del control de la unidad de estudio) de la eficiencia (o ineficiencia).

La elección de una metodología u otra recae en el investigador, que debe decidir entre la mayor flexibilidad de una metodología no paramétrica como es DEA o la

posibilidad de descomponer la desviación de la frontera en función del interés del propio análisis. En este estudio se propone el empleo de una metodología paramétrica al considerarse que los efectos estocásticos (factores no controlables por las empresas del sector eléctrico) pueden estar afectando a la producción real obtenida, y, por tanto, quedar escondidos en la medición de eficiencia técnica en el caso de empleo de modelos de frontera determinista.

Tras las propuestas de metodología estocástica de Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y Van Den Broeck (1977), se ha producido abundante literatura sugiriendo cambios al modelo. Destacan las aportaciones de Cornwell, Schmidt y Sickles (1990) y Kumbhakar (1990) que dotaban de variabilidad temporal a la eficiencia técnica. Aigner, Lovell y Schmidt (1977) sugirieron un modelo en el que los efectos de ineficiencia siguen una distribución semi-normal (asumiendo media cero). Stevenson (1980), por su parte, sugirió una distribución normal truncada en cero (asumiendo media distinta de cero) como generalización del modelo anterior. Pitt y Lee (1981), Battese y Coelli (1992) and Lee y Schmidt (1993) realizaron varias propuestas de análisis de eficiencia técnica con frontera de producción estocástica en muestras de datos de panel. En la misma línea, Battese y Coelli (1995) desarrollaron el modelo anterior (Battese y Coelli, 1992) e implementaron un procedimiento empírico de una etapa³ con frontera estocástica para muestras de datos de panel no balanceadas.

³ En la literatura económica hay evidencia en favor del empleo de metodologías de cálculo de eficiencia técnica y determinantes en un proceso de una etapa (Wang y Schmidt, 2002). Los procesos de una etapa eliminan sesgos y posibles contradicciones del empleo de modelos de cálculo en dos etapas, que considera el término de ineficiencia como una variable independiente e idénticamente distribuida (iid) en la primera etapa.

Se propone para este análisis empírico el empleo del modelo de frontera estocástica de Battese y Coelli (1995) que permite analizar muestras de datos de panel no balanceadas y estudiar el impacto de variables exógenas en la ineficiencia variable en el tiempo. A continuación se presenta el modelo.

La expresión (2.1) representa el modelo de frontera estocástica de producción y (2.2) representa el modelo de determinantes de ineficiencia:

$$Y_{it} = f(X_{jit}; \beta_j) \exp(v_{it} - u_{it}) \quad (2.1)$$

$$u_{it} = \sum_p \delta_p z_{pit} + w_{it} \quad (2.2)$$

Donde Y es un vector que recoge el valor de la producción realmente obtenida por la i -ésima empresa ($i=1, \dots, N$) en el año t -ésimo de observación ($t=1, \dots, T$); $f(\beta_j; X_j)$ representa la forma funcional de la producción, dependiente del j -ésimo factor productivo (input X_j ; $j=1, \dots, J$) y parámetros desconocidos objeto de estimación (β_j); v es una variable aleatoria o ruido blanco que representa los efectos estocásticos que afectan a la producción (supuesto i.i.d. siguiendo una distribución $N(0, \sigma_v^2)$); y u es una variable aleatoria que recoge una medida de la ineficiencia técnica (supuesta i.i.d. según una distribución $N(\mu, \sigma_u^2)$ truncada no negativa) que muestra la desviación de la producción de la empresa respecto de la frontera de producción.

En cuanto a la expresión (2.2) del modelo presentado, z_p es un vector ($1 \times m$) de variables explicativas de la ineficiencia u (siendo p el p -ésimo factor determinante de ineficiencia, $p=1, \dots, P$) que consideran heterogeneidad observable (ver Greene (2008) para más detalles) asociadas a la ineficiencia técnica en producción de las

compañías a lo largo del período de estudio; δ_p son parámetros desconocidos objeto de estimación; y w es una variable aleatoria o ruido blanco, supuesta distribuida según una semi-normal (con media cero) y varianza σ_w^2 .

El modelo de Battese y Coelli (1995), de acuerdo a Battese y Corra (1977), usa la reparametrización de la varianza de los términos estocásticos y la ineficiencia definida en las expresiones (2.3) y (2.4):

$$\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_\mu^2 \quad (2.3)$$

$$\gamma = \frac{\sigma_\mu^2}{\sigma_v^2 + \sigma_\mu^2} \quad (2.4)$$

El parámetro γ , que puede tomar valores entre 0 y 1, implica que valores próximos a cero podrían conducir a la conclusión de que los efectos de ineficiencia en el análisis de producción son irrelevantes en comparación con los factores no controlables por la empresa. Por el contrario, un valor del mismo parámetro próximo a la unidad indicaría que los factores aleatorios son irrelevantes frente a la ineficiencia en la propia producción.

Por último, tras la estimación del modelo definido por las expresiones (2.1) a (2.4) por máxima verosimilitud (Battese y Coelli, 1993), el cálculo de los niveles de eficiencia técnica de cada unidad productiva i para cada año del período de estudio t (TE_{it}) se puede realizar según la expresión (2.5):

$$TE_{it} = \exp(-u_{it}) = \exp[g(z_{pit}; \delta_p) + w_{it}] \quad (2.5)$$

2.4 Datos

Al objeto de dar respuesta a la pregunta principal del estudio abordado en este capítulo, conocer los factores determinantes de la eficiencia de las compañías del sector eléctrico, en este apartado se exponen los datos utilizados en el análisis empírico.

Las compañías que desarrollan su actividad en el sector de la electricidad tienen características técnicas y productivas diferentes conforme al objetivo de su actividad principal. Esta heterogeneidad hace necesario diferenciar el sector eléctrico en cuatro subsectores principales: producción, transporte, distribución y comercialización de electricidad.

Las compañías de producción transforman la energía acumulada en una fuente primaria de energía en electricidad, existiendo en la actualidad toda una variedad de tecnologías de transformación dependientes de tal fuente primaria de energía.

Las empresas del subsector de transporte desarrollan las actividades necesarias para la conducción de la energía eléctrica desde los centros de generación hasta las redes de distribución. Resulta fundamental la función de este subsector por dos motivos principales. En primer lugar, genera un sistema de red que conecta los diferentes centros productores del territorio permitiendo un mejor ajuste de oferta y demanda. En segundo lugar, es responsable de buena parte de las pérdidas de la energía producida.

El subsector de distribución toma la energía puesta a disposición por la red de transporte y la dirige hasta los puntos finales de consumo. La capacidad de la red de distribución de lograr un sistema eficiente no descansa únicamente en su habilidad de emplear la menor cantidad de factores productivos posibles, sino

depende también de la distribución (o dispersión) de los centros de consumo del área a suministrar (Chen, 2002; Hjalmarsson y Veiderpass, 1992; Huang, Chen y Yang, 2010; Navarro y Torres, 2006).

Para llevar a cabo este estudio, el sector eléctrico se ha dividido conforme a las actividades principales de las empresas que lo integran empleando la nomenclatura estadística de actividades económicas de la Comunidad Europea (NACE): generación (código NACE 35.11), transporte (código NACE 35.12), distribución (código NACE 35.13), y comercialización de energía eléctrica (código NACE 35.14). El subsector de comercialización no se ha incluido en la muestra dado que habitualmente se desarrolla conjuntamente con la comercialización de otros servicios, por lo que podrían obtenerse resultados sesgados. Los datos para el estudio se tomaron de la base de datos Amadeus.

La muestra finalmente empleada se compone de empresas del sector eléctrico de las que se dispone de datos de todas las variables de estudio para al menos un año del período, conformando un panel de datos no balanceado de 4.639 empresas durante el período 2005-2014 en 26 países europeos.

El cuadro 2.1 muestra los estadísticos descriptivos de las variables empleadas en la función de producción. Para el estudio de la función frontera de producción se ha tomado el valor agregado (VA) reportado por las compañías en sus cuentas anuales como variable dependiente (output). Para explicar los cambios en el valor agregado se han empleado tres factores productivos ($P=3$): trabajo (L), medido por el número medio de empleados; capital (K), medido por el valor de mercado del activo neto fijo afecto a la actividad; y los consumos intermedios (CI), definidos como el valor de mercado de los materiales y servicios empleados en la producción distintos de capital y consumos intermedios.

Cuadro 2.1 Estadísticos descriptivos

Emp. Obs.	Var.	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Des. Típ.
<i>Generación</i>						
3664	VA	56,221	0,946	0,001	29.944,988	828,505
11958	L	353,062	7	1	161.560	4.647,127
	K	198,391	2,546	0,001	123.047,831	3.160,607
	CI	88,414	0,448	0,001	35.993,391	945,347
<i>Transporte</i>						
147	VA	69,202	6,509	0,015	2.409,899	251,256
749	L	618,198	44	1	15.933	1.959,876
	K	321,661	26,120	0,002	9.023,613	1.109,382
	CI	134,051	4,976	0,002	11.010,175	867,127
<i>Distribución</i>						
828	VA	81,036	5,784	0,007	14.258,629	681,283
4160	L	526,331	43	1	36.455	2.421,131
	K	331,262	15,422	0,001	48.780,248	2.908,816
	CI	133,570	6,277	0,001	21.854,830	1.113,127

Nota: Variables en unidades (L, número de empleados) o miles de euros (VA, K, CI).

Fuente: Elaboración propia a partir de Amadeus (2015).

Para el análisis empírico, las variables expresadas en unidades monetarias (VA, K, CI) se han convertido a precios constantes de 2010 empleando el índice de precios al consumo (IPC) de la base de datos del Banco Mundial (2015).

2.5 Resultados y discusión

Como se indicaba en el apartado introductorio de este capítulo, evaluar la eficiencia técnica de las compañías de un sector y conocer cómo su estructura y

resultados les afectan permitirá a esas empresas, a su vez, conocer una vía para mejorar sus resultados.

En este sentido, la gestión financiera y estratégica puede ser fundamental para la consecución de resultados en términos de eficiencia, que es lo que se evalúa en este análisis empírico.

2.5.1 Especificación del modelo

Las expresiones (2.6) y (2.7) muestran la especificación de la frontera de producción y de la función de determinantes de ineficiencia presentadas en las expresiones generales (2.1) y (2.2), respectivamente. Siguiendo la literatura económica se ha elegido la forma funcional Transcendental Logarítmica (en adelante Translog) (Christensen, Jorgenson y Lau, 1973) para la definición de la frontera de producción dada su mayor flexibilidad frente a la Cobb-Douglas (1928):

$$\begin{aligned} \ln(VA_{it}) = & \beta_0 + \beta_1 \ln L_{it} + \beta_2 \ln K_{it} + \beta_3 \ln CI_{it} + \beta_{11} (\ln L_{it})^2 + \beta_{22} (\ln K_{it})^2 \\ & + \beta_{33} (\ln CI_{it})^2 + \beta_{12} (\ln L_{it} \cdot \ln K_{it}) + \beta_{23} \ln (\ln K_{it} \cdot \ln CI_{it}) \\ & + \beta_{13} \ln (\ln L_{it} \cdot \ln CI_{it}) + \beta_4 t + \beta_5 t^2 + v_{it} - u_{it} \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} u_{it} = & \mu + \delta_1 \text{Antigüedad}_{it} + \delta_2 \text{Tamaño}_i + \delta_3 \text{Deuda}_{it} \\ & + \delta_4 \text{Diversificación}_i + \delta_5 \text{Mercado}_i + \eta t + w_{it} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Donde t y t^2 son variables de tendencia temporal que recogen el cambio tecnológico neutral de Hicks.

Las variables explicativas de la frontera de producción (inputs) se han incluido en el modelo como desviaciones a la media.

Cuadro 2.2 Listado de variables determinantes consideradas

Variable	Tipo	Descripción	Signo
Antigüedad	Valor	Antigüedad de la compañía	+ / -
Tamaño	Valor	Número de compañías subsidiarias	-
Deuda	Valor	Ratio de deuda sobre valor de activos	+
Diversificación	Dummy	1=Diversificada, 0=Otro caso	-
Mercado	Dummy	1=Cotizada, 0= Otro caso	-

Fuente: Elaboración propia.

Las variables consideradas en este estudio para evaluar su influencia en la eficiencia técnica de las compañías del sector eléctrico, resumidas en el cuadro 2.2 con indicación del signo esperado, son *Antigüedad*, *Tamaño*, *Deuda*, *Diversificación* y *Mercado*. A continuación se explican las variables:

- *Antigüedad* de la empresa. Se toma en consideración esta variable dado que las compañías con mayor recorrido en el sector podrían haber experimentado un efecto aprendizaje (Cucculelli et al., 2014) y ser, por tanto, más eficientes que las de vida más corta (signo negativo). Sin embargo, las compañías de larga trayectoria pueden resultar resistentes al cambio (Agarwal y Gort, 2002), generándose un efecto inercia que derive en ineficiencia (signo positivo).

- *Tamaño* es una variable proxy que mide el tamaño de la empresa y se define por el número de compañías subsidiarias. En sectores intensivos en capital, las empresas más grandes pueden contar con trabajo de alta cualificación y realizar mayores inversiones en innovación tecnológica que podrían afectar de manera positiva a su eficiencia (signo negativo).

- *Deuda* es un ratio financiero que mide el grado de endeudamiento y se define como el cociente entre la deuda total y el valor contable de los activos de

la empresa. El análisis de la estructura del capital que utiliza la empresa para financiar sus operaciones (pasivos y fondos propios) y su posible influencia en el desempeño de la empresa fue un tema de estudio inicial de Modigliani y Miller (1958). La aplicabilidad concreta al estudio de un sector intensivo en capital como el eléctrico reside en que la acumulación excesiva de capital puede conducir a problemas financieros y de liquidez. Por tanto, se considera que *Deuda* puede influir positivamente en la ineficiencia (signo positivo).

- *Diversificación* es una variable binaria que toma valor cero cuando la compañía desarrolla actividades secundarias relacionadas con otros sectores de actividad y uno cuando se dedica únicamente a actividades del sector eléctrico. Esta variable se ha tomado para evaluar si existe un efecto de sinergia (signo negativo) de la diversificación corporativa en la industria.

- *Mercado* es una variable determinante binaria que toma el valor uno cuando la empresa está cotizada en bolsa y el valor cero en caso contrario. Como se señaló en Fernández-López y Coto-Millán (2015), las empresas que cotizan en bolsa deben hacer un esfuerzo adicional de comunicación de información (transparencia). Por este motivo, se considera que para ser una empresa que cotice en bolsa puede alcanzar niveles menores de ineficiencia técnica (signo negativo).

- La variable t refleja el efecto de la variación de la eficiencia técnica a lo largo del tiempo. Cabe señalar que la inclusión de esta variable no afecta a los supuestos de distribución del modelo especificado, ya que las variables t y t^2 se utilizan en la frontera de posibilidades de producción para explicar el cambio tecnológico (Battese y Coelli, 1995).

Cuadro 2.3 Resultados de la función frontera de producción estocástica

Variable	Generación			Transporte			Distribución		
	Coef.	(Desv.)	Sig.	Coef.	(Desv.)	Sig.	Coef.	(Desv.)	Sig.
Constante	14,322	(0,049)	***	15,914	(0,078)	***	15,560	(0,033)	***
Trabajo (L)	0,380	(0,008)	***	0,391	(0,017)	***	0,311	(0,008)	***
Capital (K)	0,454	(0,004)	***	0,424	(0,012)	***	0,454	(0,006)	***
Consumos Intermedios (CI)	0,145	(0,004)	***	0,143	(0,010)	***	0,165	(0,006)	***
L ²	0,051	(0,003)	***	0,022	(0,007)	***	0,015	(0,003)	***
K ²	0,060	(0,001)	***	0,085	(0,004)	***	0,052	(0,002)	***
CI ²	0,026	(0,001)	***	0,015	(0,004)	***	0,030	(0,002)	***
L*K	-0,081	(0,003)	***	-0,099	(0,008)	***	-0,058	(0,005)	***
L*CI	-0,022	(0,003)	***	0,045	(0,009)	***	-0,010	(0,004)	***
K*CI	-0,032	(0,002)	***	-0,059	(0,005)	***	-0,030	(0,002)	***
t	-0,021	(0,016)		-0,005	(0,030)		0,004	(0,014)	
t ²	0,000	(0,001)		-0,002	(0,003)		0,000	(0,001)	

Nota: ***, ** y * son los niveles de significación de las variables al 99%, 95% and 90%, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2.4 Resultados de la función de determinantes de ineficiencia

Variable	Generación			Transporte			Distribución		
	Coef. (Desv.)	Sig.		Coef. (Desv.)	Sig.		Coef. (Desv.)	Sig.	
Constante (μ)	-2,819 (0,346)	***		-2,005 (0,783)	**		-18,924 (4,963)	***	
Antigüedad	0,024 (0,002)	***		0,018 (0,004)	***		-0,010 (0,005)	**	
Tamaño	-0,018 (0,000)	***		-0,131 (0,011)	***		-0,009 (0,002)	***	
Deuda	2,779 (0,215)	***		2,497 (0,551)	***		10,921 (3,060)	***	
Diversificación	0,212 (0,043)	***		-1,461 (0,296)	***		-0,362 (0,104)	***	
Mercado	0,978 (0,141)	***		1,601 (0,247)	***		4,989 (1,324)	***	
Tiempo (ⁿ)	-0,061 (0,012)	***							
σ^2	2,218 (0,135)	***		1,271 (0,336)	*		6,367 (1,562)	**	
γ	0,749 (0,019)	***		0,921 (0,027)	***		0,972 (0,006)	***	

Nota: ***, ** y * son los niveles de significación de las variables al 99%, 95% and 90%, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidas las variables determinantes, el modelo presentado en las expresiones (2.6) y (2.7) se estimó siguiendo la metodología descrita en la sección 2.3 y se obtuvieron los resultados presentados en las cuadros 2.3 (función frontera de producción) y 2.4 (función de determinantes de ineficiencia). De esta estimación, también se obtuvieron los parámetros de varianza definidos en las expresiones (2.3) y (2.4), indicativos de la importancia de los efectos estocásticos en relación a la ineficiencia en la producción de las empresas.

Para estimar la eficiencia (o ineficiencia) técnica y evaluar sus factores determinantes, se proponen varios modelos de análisis para comprobar si el paso del tiempo le afecta o no y para probar si la ineficiencia sigue una distribución normal truncada ($\mu \neq 0$) o una distribución semi-normal ($\mu = 0$).

Las cuadros 2.3 y 2.4 muestran los resultados del modelo que mejor se ajustan a los datos de los modelos presentados. La elección del modelo que mejor se ajusta a los datos se realizó en base a la prueba de razón de verosimilitud (distribuida según una χ^2 -mixta, definida en Kodde y Palm (1986), o χ^2 dependiendo de si la inclusión del parámetro γ en el test) y al estadístico de Wald (con distribución t-Student) para la prueba individual de significación de la variable.

De las pruebas de hipótesis realizadas, la especificación del modelo con la función de producción de Cobb-Douglas se rechazó en todos los casos en favor de la especificación Translog, más general. De los cuatro modelos especificados, el subsector de producción de electricidad se adapta mejor al modelo con una distribución normal truncada de los efectos de ineficiencia y dependiente del tiempo, mientras que los subsectores de transmisión y distribución, que comparten semejanzas sustanciales en su actividad, se ajustan mejor al modelo con la ineficiencia no dependiente del tiempo.

2.5.2 Frontera de producción

En línea con la forma productiva de los subsectores analizados, se observó que el capital tiene un peso sustancial en las actividades de generación, transporte y distribución de electricidad. Este es el resultado esperado, ya que los sectores de electricidad necesitan una inversión sustancial para formar la red requerida por la Unión Europea. Así mismo, como puede apreciarse en el cuadro de estadísticos descriptivos (cuadro 2.1), los valores de capital (promedio) son más altos que los valores de consumos intermedios (promedio) en todos los casos, por lo que el peso del factor productivo capital en estas actividades es elevado. Por lo tanto, el capital debe proveerse con cautela, ya que una cantidad excesiva puede resultar en un empeoramiento de sus resultados en términos de eficiencia (Goto y Tsutsui, 1998) siendo además difícil (costoso) eliminar el capital previamente adquirido (o una parte del mismo) cuando no es necesario para la actividad productiva (Navarro y Torres, 2006; Nemoto y Goto, 2003).

Como se señaló en el capítulo introductorio de este capítulo, en las últimas décadas se han desarrollado nuevas técnicas y mejorado las que ya estaban en uso. Sin embargo, los resultados de estimación no revelan este progreso tecnológico en las actividades analizadas del sector eléctrico. Este resultado puede surgir del hecho de que la innovación es costosa (tanto en términos de tiempo como en términos de recursos monetarios) y, por lo tanto, el efecto en la producción no se ha podido observar en el período de diez años analizado.

2.5.3 Determinantes de ineficiencia

Los altos valores del parámetro γ en los subsectores de transporte y distribución de electricidad revelan que los efectos estocásticos han tenido una importancia

limitada frente a los efectos de la ineficiencia técnica. En contraste, en el subsector de generación de electricidad, los efectos estocásticos tuvieron más peso debido a la creciente importancia de las energías renovables, su alta dependencia de los fenómenos climatológicos (incontrolables) y la variabilidad del precio de las fuentes primarias (Liu y Wang, 2014; Tao, Guo y Yang, 2008).

En cuanto a los resultados de los determinantes de ineficiencia mostrados en el cuadro 2.4, se observa que el *Tamaño* es una variable significativa con signo negativo en todos los casos, lo que muestra una mayor eficiencia técnica para las compañías de electricidad más grandes (en línea con los resultados de Bai y Song (2008), Chen (2002), Tao, Guo y Yang (2008) y en contra de los resultados de Thakur, Deshmukh y Kaushik (2006)).

Como resultado de la estimación de los modelos, los niveles de eficiencia técnica de las compañías incluidas en la muestra se obtuvieron de la expresión (2.5). Los cuadros A.1, A.2 y A.3 disponibles en el Apéndice A reflejan los valores promedio de eficiencia técnica durante el período para las 25 compañías más eficientes en los subsectores de producción, transmisión y distribución de electricidad. Una revisión de los cuadros muestra que estas empresas son principalmente aquellas con 250 o más empleados. Este resultado confirma el resultado recogido en el párrafo anterior de que las grandes empresas logran mayores niveles de eficiencia técnica.

La variable *Antigüedad* tiene signo diferente dependiendo del subsector de actividad. En los subsectores de generación y transporte de electricidad (que operan en claros monopolios naturales), las empresas más antiguas se asocian con niveles de eficiencia bajos. Por su parte, las compañías de distribución más antiguas, que tienen características similares a las de transporte pero que se

enfrentan a una competencia creciente, alcanzan niveles de eficiencia más altos. En este aspecto se puede concluir que, en sectores con mercados más competitivos (distribución), el efecto de aprendizaje supera el efecto de inercia y, por lo tanto, las empresas maduras muestran niveles de eficiencia más altos.

La estructura de capital de las empresas es clave para que las empresas logren un mejor desempeño financiero. La financiación externa puede mejorar el crecimiento de la empresa mientras los costes financieros no superen a los costes del capital propio. Por tanto, las empresas pueden elegir la forma de enfrentar sus costes de funcionamiento, decidiendo la combinación de deuda y capital. El ratio de deuda (variable *Deuda*) es una variable que define este comportamiento financiero de las empresas. De los resultados de estimación obtenidos se observa que es una variable significativa con signo positivo en todos los casos y, por tanto, un mayor nivel de endeudamiento se asocia con menores niveles de eficiencia. Este resultado indica que, en término medio, el sector está sobreendeudado y está perjudicando los niveles de eficiencia técnica de la industria.

Otro aspecto considerado estratégico en la gestión empresarial es la *Diversificación* de actividades. La desregulación abrió las puertas para que las empresas de electricidad ampliasen sus líneas de negocio tanto en negocios relacionados (como el gas) como en negocios no relacionados (por ejemplo, las telecomunicaciones). Wilson (2002) expresó la idea de que la diversificación podría resultar beneficiosa debido a efectos de sinergia. Sin embargo, los resultados de estimación indican que la *Diversificación* afecta negativamente la eficiencia de las compañías de generación de electricidad. Estos resultados son similares a los de Sueyoshi, Goto y Shang (2009), que recomendaron a las empresas de servicios

eléctricos de EEUU centrar sus actividades en su negocio principal para ser competitivos en el entorno desregulado.

Sin embargo, los resultados indican que la diversificación de las actividades de transporte y distribución de electricidad aumenta los niveles de eficiencia técnica, probablemente debido a las similitudes con otras actividades (por ejemplo, transporte o distribución de tecnologías de información y comunicación, TIC) donde podría existir el efecto de sinergia señalado anteriormente.

La variable *Mercado* ha resultado significativa y positiva para los tres subsectores. Esto indica que ser una compañía que cotiza en bolsa (que está vinculada a un requisito adicional de información financiera) se asocia con niveles más altos de ineficiencia.

La variable *t*, que recoge el efecto del paso del tiempo en la ineficiencia, no es significativa en los subsectores de transporte y distribución de electricidad. Por su parte, la eficiencia técnica de las empresas productoras de electricidad aumentó durante los años del período de estudio. La generación de electricidad ha evolucionado debido al progreso en investigación y desarrollo en tecnologías renovables, en línea con Chang, Chen y Chen (2009), Liu, Lin y Lewis (2010), Gharneh et al. (2014), quienes encontraron esa generación. Los impactos tecnológicos en la eficiencia técnica de la empresa y los cambios regulatorios (incipientes) orientados a la preservación del medio ambiente.

En resumen, en este capítulo se ha encontrado evidencia empírica del impacto positivo del tamaño en la eficiencia técnica de las empresas de generación de electricidad, mientras que la antigüedad, el grado de endeudamiento, la diversificación de la actividad y el hecho de que se comercialicen públicamente

afectan negativamente. La eficiencia técnica de las compañías de transporte se ve afectada positivamente por el tamaño y la diversificación, y negativamente por la edad, el grado de endeudamiento y la cotización bursátil. Finalmente, las empresas de distribución de electricidad se ven afectadas positivamente por la edad, el tamaño y la diversificación de la actividad, mientras que el grado de endeudamiento y la cotización en bolsa afectan negativamente. Los resultados muestran que el sentido en que estas variables afectan a las empresas varía según el subsector de actividad principal, y son de gran importancia porque indican que las medidas de gestión (a veces más fáciles o más baratas de aplicar que las medidas técnicas) pueden adaptarse para lograr mejores resultados. Sin embargo, hay que resaltar que estas medidas generales no afectan por igual a todas las empresas y dependen de sus niveles iniciales, por lo que cada caso particular debe estudiarse cuidadosamente antes de modificar alguno de los parámetros en busca de mayores niveles de eficiencia.

2.6 Conclusiones

El objetivo de la investigación desarrollada en este capítulo es contribuir a la literatura buscando formas de mejorar los niveles de eficiencia energética de las economías. Para ello se ha analizado la eficiencia técnica de las empresas que operan en el sector de la electricidad en Europa durante el período 2005-2014 y sus factores determinantes. Con este fin se ha aplicado un análisis de frontera estocástica a tres subsectores de electricidad divididos según las características

principales de la actividad productiva de las empresas involucradas (generación, transporte y distribución⁴).

Este documento contribuye a la literatura al evaluar el impacto de variables como la edad, el tamaño, la estructura de capital y la diversificación de la actividad de las empresas en el sector eléctrico.

El análisis realizado muestra resultados de interés sobre las opciones que tienen las empresas del sector eléctrico para mejorar su eficiencia técnica. Una conclusión inicial es que el tamaño de las empresas afecta en su desempeño, de modo que las empresas más grandes obtendrán mejores resultados en términos de eficiencia técnica. Una segunda conclusión surge del análisis de la variable *Antigüedad*. Las empresas más antiguas en los subsectores de generación y transporte de electricidad muestran efectos de inercia, mientras que en el subsector de distribución los efectos de aprendizaje los superan. Este resultado es significativo ya que implica que las empresas de generación y transporte de electricidad se han acomodado y pueden cambiar su comportamiento a otro más competitivo.

La tercera conclusión de este estudio es que la estructura de capital también determina el desempeño de las empresas. Los valores positivos y significativos de la variable Deuda indican que las empresas de electricidad están, en término medio, financiadas externamente en exceso. Este resultado, unido al elevado peso del capital en el sector, conduce a costes no siempre equilibrados con los ingresos.

⁴ El subsector de comercialización fue excluido del estudio por no disponer de datos homogéneos y dado que las empresas participantes habitualmente desarrollan su actividad diversificada con la comercialización de otros servicios, evitando llegar a resultados sesgados.

Por lo tanto, es recomendable estudiar (y reestructurar en caso necesario) la estructura de capital para aumentar la eficiencia técnica.

La diversificación de la actividad afecta de manera diferente a los subsectores analizados. Los resultados no muestran efectos de sinergia en la producción de electricidad, mientras que los subsectores de transporte y distribución sí lo hacen. A la luz de los resultados obtenidos, sería aconsejable para las empresas involucradas en la producción de electricidad concentrarse en su negocio principal, en vistas de ser más competitivas en un entorno desregulado.

CAPÍTULO 3

LA PARADOJA DE LA REGULACIÓN ENERGÉTICA: EVIDENCIA DE LA INEFICIENCIA DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN EUROPA⁵

⁵ Este capítulo es una versión depurada de Coto-Millán, de la Fuente y Fernández (2017).

3.1 Introducción

La electricidad puede generarse a partir de una amplia gama de fuentes primarias de energía y por una amplia variedad de procesos. En las fuentes primarias se incluyen las energías solar, eólica, hidráulica, nuclear y la procedente de fuentes fósiles. La elección del sistema de generación depende fundamentalmente de la disponibilidad de fuentes primarias de energía y las necesidades de abastecimiento (demanda).

En términos de eficiencia, las plantas de producción nuclear destacan sobre el resto. Estas plantas, altamente eficientes, emplean uranio o plutonio enriquecido como fuente primaria de energía y producen grandes cantidades de electricidad empleando cantidades relativamente pequeñas del recurso energético. Entre las ventajas de este sistema de producción está la posibilidad de reducir la cantidad producida en períodos de baja demanda, reduciéndose así las pérdidas de parte de la energía producida que de otro modo debería ser disipada.

En el extremo opuesto de la escala de eficiencia se sitúan las plantas de producción eólica y solar. Pese a la abundancia de sus fuentes primarias, la disponibilidad del recurso hace que no sea viable la generación de electricidad por estos sistemas en todas las regiones productoras. Si bien poseen las ventajas de emplear un recurso renovable, local, de libre acceso⁶ y de no emitir gases de efecto invernadero durante el proceso de producción de electricidad, presentan la desventaja de no poder adaptar los niveles de producción a la demanda real. Aunque no se puede olvidar el gran esfuerzo de desarrollo que se ha venido haciendo durante décadas en el campo de las energías renovables, queda aún mucho trabajo pendiente para

⁶ Reduciendo así la dependencia de otros países o regiones para la producción de electricidad.

que estos sistemas de generación alcancen los niveles de eficiencia de otros como los que utilizan métodos nucleares.

La regulación en los países europeos ha restringido la producción máxima con fuente nuclear y ha incentivado la producción de energía eléctrica con otras fuentes. Sin embargo, habría que regular (estableciendo una producción máxima) de modo que la energía eléctrica generada con fuente nuclear fuera al menos igual de eficiente que la producida por otras fuentes energéticas. Si la energía eléctrica generada con fuente nuclear tiene una producción menos eficiente se está favoreciendo a las empresas con fuentes no nucleares (Chen, Barros y Borges, 2015; Fong See y Coelli, 2012).

Una pregunta principal guía la investigación de este capítulo: ¿Son más o menos eficientes en la producción de energía eléctrica las empresas ubicadas países europeos con producción con fuente nuclear frente a las empresas de países con otras fuentes de energía? Para responder a esta pregunta se emplea la metodología paramétrica de estimación de eficiencia técnica de fronteras estocásticas de producción con variabilidad temporal de Battese y Coelli (1995), resumida en el segundo capítulo de esta tesis (apartado 2.3).

El resto del capítulo se desarrolla como sigue. En el segundo apartado se realiza una revisión de la literatura existente en torno a las metodologías empleadas en los estudios de eficiencia realizados en el sector eléctrico de distintos países. En el tercer apartado se describen los datos tomados para el estudio y su tratamiento. Los apartados cuarto y quinto describen los resultados obtenidos en esta investigación y las conclusiones que se aportan.

3.2 Revisión literaria

La energía, debido a la gran importancia para el desarrollo estratégico de países y regiones y su dependencia para lograr crecimiento económico, ha venido estudiándose durante décadas desde diversas perspectivas.

El sector eléctrico no se queda atrás. Analizado ampliamente por la literatura, las investigaciones se han visto, sin embargo, más centradas en aspectos regulatorios, de introducción de competencia y/o privatización, en un sector que destaca por una tradición con intensa regulación y un marcado carácter público.

La regulación se ha mostrado como una variable de influencia en el sector eléctrico en numerosos estudios (Chen, Barros y Borges, 2015; Fong See y Coelli, 2012; Gharneh et al., 2014; Şirin, 2017). Goto y Tsutsui (2008) encontraron influencia significativa de la desregulación en compañías de generación eléctrica americanas en el período 1992-2000. Anteriormente, Delmas y Tokat (2005) habían encontrado impacto negativo para el período 1998-2001.

En relación al precio de las fuentes primarias de energía, algunos autores encontraron influencia negativa del precio en la eficiencia técnica (Tao, Guo y Yang, 2008), siendo más eficientes las regiones más desarrolladas o con abundancia de la propia fuente (Liu y Wang, 2014). En este sentido, Knittel (2002) mostró que se producía un incremento de la eficiencia de las empresas eléctricas americanas con la regulación dirigida a reducir los costes de las fuentes primarias de energía.

El efecto de la privatización en la eficiencia no ha alcanzado consenso. Bagdadioglu, Waddams Price y Weyman-Jones (1996) encontraron evidencia en favor de la mayor eficiencia de las empresas privadas en su estudio para Turquía,

al igual que Tao, Guo y Yang (2008) para las plantas de producción chinas en el período 2002-2005. El análisis de Plane (1999) sobre la compañía Côte d'Ivoire Electricity Company reveló su mayor eficiencia tras la privatización, justificada en la implementación de medidas de gestión privada. Sin embargo, el estudio de Bonifaz y Santin (2000) para las empresas distribuidoras de energía eléctrica de Perú concluyó no existen diferencias significativas en la eficiencia entre empresas públicas y privadas.

Los estudios de Liu, Lin y Lewis (2010), Heshmati, Lee y Hwang (2012) o Sahin y Yilbas (2012) mostraron la influencia de la forma de generación de la electricidad en la eficiencia técnica de las compañías. Sin embargo, hasta donde conocemos, no se ha elaborado aún ningún análisis sobre el impacto en la eficiencia del sector eléctrico de la existencia de compañías generadoras de electricidad a partir de medios nucleares a escala europea.

3.3 Datos

El objetivo de esta investigación es analizar el impacto de la producción de energía eléctrica a partir de fuentes nucleares sobre las empresas que desarrollan su actividad principal en el sector eléctrico de los países europeos. A tal fin, se ha recabado información de la base de datos AMADEUS de empresas cuya actividad principal se desarrolla en el sector eléctrico.

La actividad de producción de energía eléctrica (con código NACE 35.11) comprende la explotación de instalaciones de generación de energía eléctrica con exclusión de aquellas cuya obtención de energía se realiza mediante la incineración de residuos).

La muestra empleada es un panel de datos no balanceado de un total de 3.911 empresas ubicadas en 25 países europeos para un período de estudio comprendido entre 2005 y 2014.

Cuadro 3.1 Estadísticos descriptivos

Emp. Obs.	Var.	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Des. Típ.
<i>Compañías con 1 - 9 empleados</i>						
2.923	VA	1.682,04	268,69	1,08	249.518,62	8.604,92
7.222	L	3,17	3	1	9	2,26
	K	8.707,41	893,35	0,99	1.254.265,66	46.192,40
	CI	2.262,87	37,66	0,91	305.833,53	14.293,19
<i>Compañías con 10 - 49 empleados</i>						
846	VA	11.508,98	2.379,00	4,72	2.410.531,17	93.009,16
2.667	L	22,22	19	10	49	10,82
	K	27.327,39	5.230,70	1,07	1.070.952,95	75.999,53
	CI	18.320,34	1.583,34	0,94	2.241.927,31	105.344,53
<i>Compañías con 50 - 249 empleados</i>						
370	VA	22.951,21	11.374,75	1,22	1.174.413,37	60.104,66
1.528	L	110,01	94	50	249	51,44
	K	81.461,92	26.039,30	1,58	1.641.614,60	181.648,98
	CI	42.097,37	14.372,02	1,25	3.061.520,52	136.408,04
<i>Compañías con > 250 empleados</i>						
225	VA	479.391,60	80.568,44	118,85	29.944.987,52	2.522.637,24
1.247	L	3.218,49	728	250	161.560	14.075,80
	K	1.713.235,37	241.179,71	1,92	123.047.831,15	9.657.912,67
	CI	745.422,13	94.770,52	25,39	35.993.390,58	2.836.265,41

Nota: Variables en unidades (L, número de empleados) o miles de Euros (VA, K, CI).

Fuente: Elaboración propia a partir de Amadeus (2015).

La muestra se ha subdividido en cuatro tamaños de empresa atendiendo al criterio organizativo de número de empleados, siguiendo un criterio similar al introducido por la Comisión Europea en su Recomendación 422C (2003): en primer lugar, empresas con un máximo de 9 empleados, en segundo lugar aquellas con un número de empleados entre 10 y 49, en tercer lugar empresas desde 50 hasta 249 empleados y, por último, empresas con una plantilla superior o igual a 250 empleados.

El cuadro 3.1 resume los estadísticos principales de las submuestras empleadas en este análisis, atendiendo al criterio organizativo de número de trabajadores empleado. La variable output incluida en la función frontera de producción es el valor añadido (VA) reportado anualmente por cada una de las empresas consideradas en la muestra. Como variables input (X_{jit}) se han considerado los factores productivos trabajo (L), capital (K) y consumos intermedios (CI), medidos respectivamente por el número medio de empleados, el valor de mercado del inmovilizado material afecto a la actividad una vez deducidos los costes de amortización y, finalmente, el valor de mercado de los costes de materiales (valor de mercado de los materiales y servicios empleados en la producción excluidos los costes de capital y del trabajo) informados por cada empresa i en cada año de observación t . Las variables de valor añadido, capital y consumos intermedios se han descontado por el valor del IPC a precios constantes de 2010 (Banco Mundial, 2015).

3.4 Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados de eficiencia técnica de las compañías de producción de electricidad en Europa para el período 2005-2014 obtenidos

empleando la metodología de frontera estocástica de Battese y Coelli (1995), descrita en el apartado 2.3.

3.4.1 Especificación del modelo

Se adopta, como forma funcional de la función frontera de producción, la translog desarrollada por Christensen, Jorgenson y Lau (1973) por ser una función más flexible que la Cobb-Douglas (1928), ambas empleadas ampliamente en la literatura.

La especificación de la función de frontera de producción tipo translog en forma logarítmica se define en la expresión (3.1):

$$\begin{aligned} \ln(Y_{it}) = & \beta_0 + \beta_1 \ln L_{it} + \beta_2 \ln K_{it} + \beta_3 \ln CI_{it} + \beta_{11} (\ln L_{it})^2 + \beta_{22} (\ln K_{it})^2 \\ & + \beta_{33} (\ln CI_{it})^2 + \beta_{12} (\ln L_{it} \cdot \ln K_{it}) + \beta_{23} \ln (\ln K_{it} \cdot \ln CI_{it}) \\ & + \beta_{13} (\ln L_{it} \cdot \ln CI_{it}) + \beta_4 t + \beta_5 t^2 + v_{it} - u_{it} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Donde Y es un vector que representa el valor de la producción (valor añadido) realmente obtenida por la empresa i en la observación t ; L , K y CI representan los factores productivos (trabajo, capital y consumos intermedios, respectivamente) empleados; β son parámetros desconocidos objeto de estimación; v es el término de error aleatorio o ruido blanco de estimación; u es una variable aleatoria que representa la ineficiencia técnica en producción; t es una variable de tiempo que representa cambio tecnológico en el sentido de Hicks a lo largo del período de estudio.

El modelo de Battese y Coelli (1995) permite la estimación de la función frontera de producción y la comprobación del efecto de la producción de energía de origen nuclear en la ineficiencia técnica en un proceso de una sola etapa. La expresión

(3.2) completa la definición del modelo de ineficiencia técnica de las compañías pertenecientes al sector eléctrico:

$$u_{it} = \delta_0 + \delta_1 t + \delta_2 nuclear_i + w_{it} \quad (3.2)$$

Donde t es la variable tiempo que recoge el efecto de la variación de la ineficiencia técnica con el paso del tiempo (en las observaciones sucesivas); $nuclear$ es una variable binaria o dummy que recoge el efecto de la ubicación de la compañía i en un país con producción de energía nuclear; δ son los parámetros desconocidos objeto de estimación; finalmente, w es un término de error aleatorio o ruido blanco de estimación.

3.4.2 Frontera de producción

Para el desarrollo del análisis de la influencia de la producción de energía nuclear en la eficiencia técnica de las empresas de generación de energía eléctrica en Europa, se plantean cuatro modelos de análisis con función frontera de producción estocástica.

Modelo 1: $\delta_0 \neq 0$ y $\delta_1 \neq 0$. Distribución normal truncada en cero e ineficiencia técnica dependiente del paso del tiempo.

Modelo 2: $\delta_0 = 0$ y $\delta_1 \neq 0$. Distribución semi-normal (con media cero) e ineficiencia técnica dependiente del tiempo.

Modelo 3: $\delta_0 \neq 0$ y $\delta_1 = 0$. Distribución normal truncada en cero e ineficiencia técnica no dependiente del tiempo.

Modelo 4: $\delta_0 \neq 0$ y $\delta_1 \neq 0$. Distribución semi-normal e ineficiencia técnica no dependiente del tiempo.

El cuadro 3.2 muestra los resultados de estimación de la función frontera de producción y el cuadro 3.3 recoge el efecto parcial de la producción nuclear de energía eléctrica en la eficiencia técnica de las compañías de generación de electricidad.

Las variables explicativas correspondientes a los factores productivos incluidas en la regresión de la función de producción estocástica se han introducido como desviaciones a la media de los factores productivos.

Los coeficientes asociados a los factores productivos en el cuadro 3.2 se corresponden con los parámetros objeto de estimación de la función frontera de producción que producen mejor ajuste a los datos, reflejados en la expresión (3.1).

Cuadro 3.2 Resultados de estimación. Frontera de producción

Variable	1-9 Empleados			10-249 Empleados			50-249 Empleados			>250 Empleados		
	Coef.	(Desv.)	Sig.	Coef.	(Desv.)	Sig.	Coef.	Coef.	Sig.	Coef.	(Desv.)	Sig.
Constante	12,684	(0,081)	***	14,531	(0,080)	***	16,206	(0,080)	***	18,450	(0,088)	***
Trabajo (L)	0,181	(0,017)	***	0,458	(0,041)	***	0,262	(0,046)	***	0,192	(0,028)	***
Capital (K)	0,501	(0,006)	***	0,431	(0,009)	***	0,402	(0,011)	***	0,488	(0,015)	***
Consumos Intermedios (CI)	0,139	(0,005)	***	0,180	(0,008)	***	0,200	(0,011)	***	0,271	(0,014)	***
L ²	0,170	(0,025)	***	0,010	(0,097)	***	0,008	(0,102)	***	0,014	(0,018)	***
K ²	0,064	(0,002)	***	0,059	(0,003)	***	0,062	(0,004)	***	0,079	(0,004)	***
CI ²	0,022	(0,002)	***	0,029	(0,002)	***	0,029	(0,003)	***	0,040	(0,005)	***
L*K	-0,059	(0,007)	***	-0,072	(0,017)	***	-0,118	(0,022)	***	-0,093	(0,014)	***
L*CI	0,002	(0,006)		-0,020	(0,018)		0,036	(0,022)	*	0,024	(0,014)	*
K*CI	-0,037	(0,002)	***	-0,039	(0,003)	***	-0,001	(0,004)		-0,062	(0,007)	***
t	0,014	(0,026)		0,038	(0,030)		0,034	(0,031)		0,014	(0,035)	
t ²	-0,004	(0,002)	*	-0,003	(0,003)	***	-0,002	(0,003)		-0,003	(0,003)	

Nota: ***, ** y * son los niveles de significación de las variables al 99%, 95% and 90%, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3.3 Resultados de estimación. Función de efectos de ineficiencia

Variable	1-9 Empleados			10-249 Empleados			50-249 Empleados			>250 Empleados		
	Coef.	(Desv.)	Sig.	Coef.	(Desv.)	Sig.	Coef.	(Desv.)	Sig.	Coef.	(Desv.)	Sig.
Constante (δ_0)	-21,016	(3,481)	***	-24,200	(5,377)	***	-28,486	(5,793)	***	-21,114	(5,828)	***
Tiempo (δ_1)	-0,593	(0,112)	***	0,947	(0,205)	***	0,818	(0,164)	***	-0,557	(0,156)	***
Nuclear	7,006	(1,253)	***	5,980	(1,217)	***	7,729	(1,586)	***	6,765	(1,745)	***
σ^2	11,464	(1,644)	***	8,582	(1,741)	**	11,600	(2,065)	**	10,864	(2,685)	**
γ	0,940	(0,009)	***	0,934	(0,014)	***	0,976	(0,005)	***	0,970	(0,008)	***

Nota: ***, ** y * son los niveles de significación de las variables al 99%, 95% and 90%, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

En todos los casos se ha comprobado la mejor adecuación de la especificación de la función de producción tipo translog, más general, frente a la función tipo Cobb-Douglas.

El contraste entre modelos arroja el resultado de que el modelo tipo 1 (distribución normal truncada en cero y evolución temporal significativa de los efectos de ineficiencia) es el que mejor se ajusta para el subsector de producción de energía eléctrica, sin distinción entre grupos de número de trabajadores.

De forma casi generalizada, a excepción de las compañías con número de empleados comprendido en el intervalo de 10 a 49, muestran rendimientos decrecientes de escala, pudiendo ser el resultado de la alta variabilidad de la demanda de electricidad y el precio y el elevado coste necesario para producir una unidad adicional en momentos de demanda elevada.

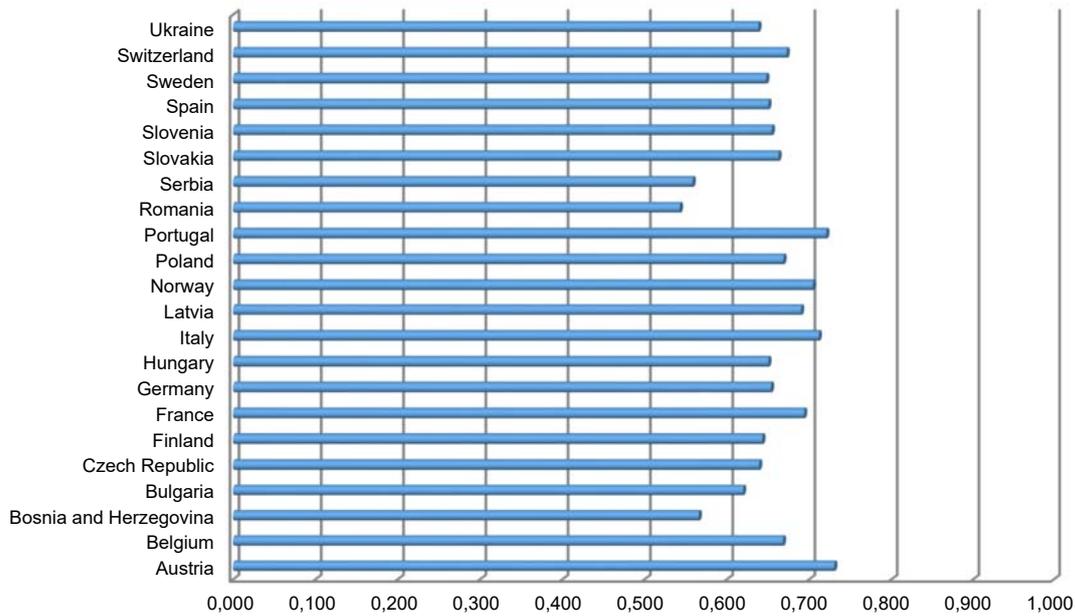
Los coeficientes asociados a las variables tiempo recogen el cambio tecnológico en el sentido de Hicks. Los resultados de estimación de las funciones frontera de producción de las empresas de producción de energía eléctrica muestran cambio tecnológico negativo de las empresas con menos de 50 trabajadores, mientras el resto no presentan progreso tecnológico. Resultado similar al alcanzado en el capítulo anterior, se puede justificar en que la innovación en este campo no se ha podido observar en el período de estudio.

3.4.3 Efecto de la producción nuclear

El cuadro 3.3 recoge el efecto parcial de la producción nuclear de energía eléctrica en la eficiencia técnica de las compañías de generación de electricidad.

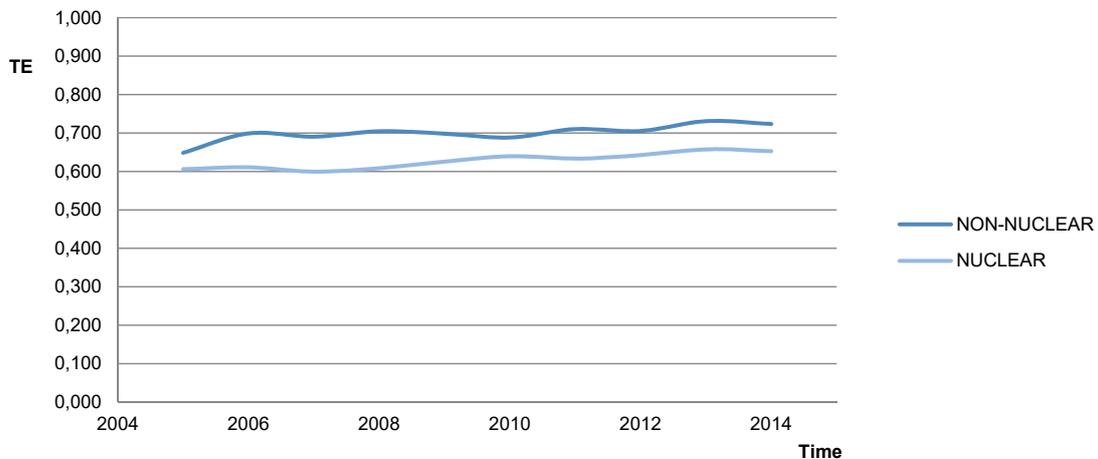
Las figuras 3.1, 3.3, 3.5 y 3.7 ilustran los valores promedio de eficiencia técnica por países de cada uno de los grupos de empresas pertenecientes al sector de generación eléctrica. Se observa en estas figuras que los países más eficientes técnicamente en la producción de energía eléctrica son aquellos cuyo mix energético no comprende la producción nuclear, como Austria, Portugal o Italia.

Figura 3.1 Eficiencia técnica media por países: < 10 empleados



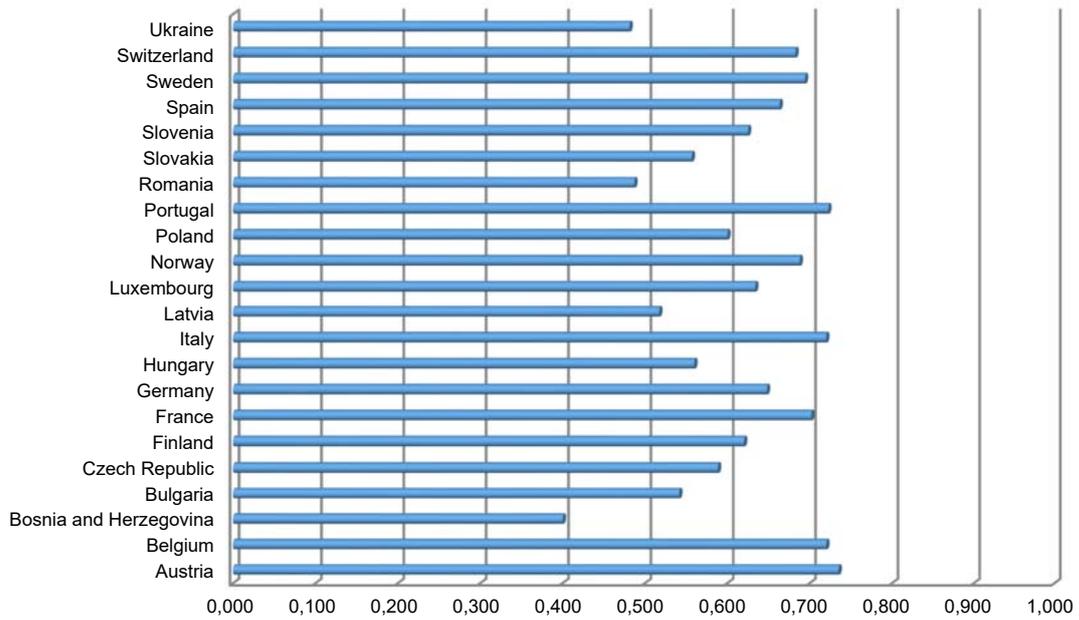
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2 Nuclear vs no-nuclear: < 10 empleados



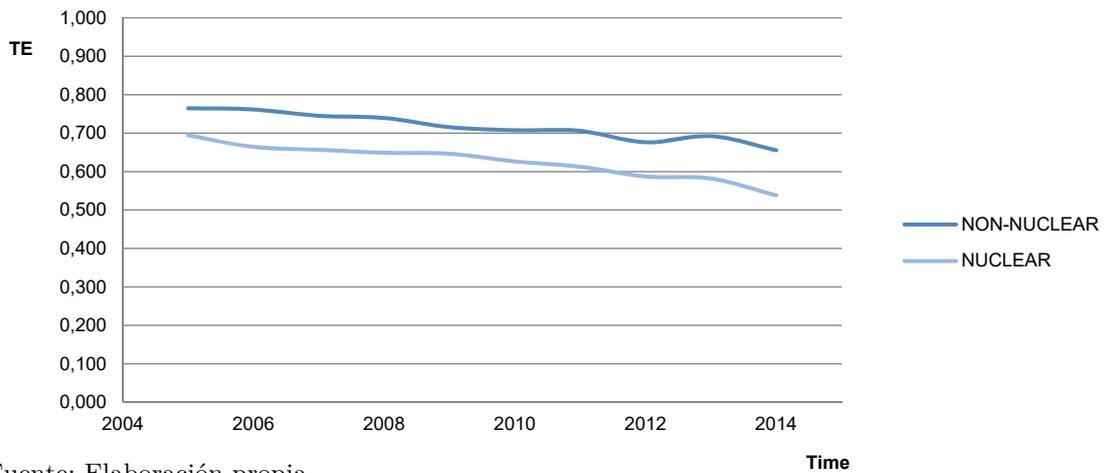
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3 Eficiencia técnica media por países: 10-49 empleados



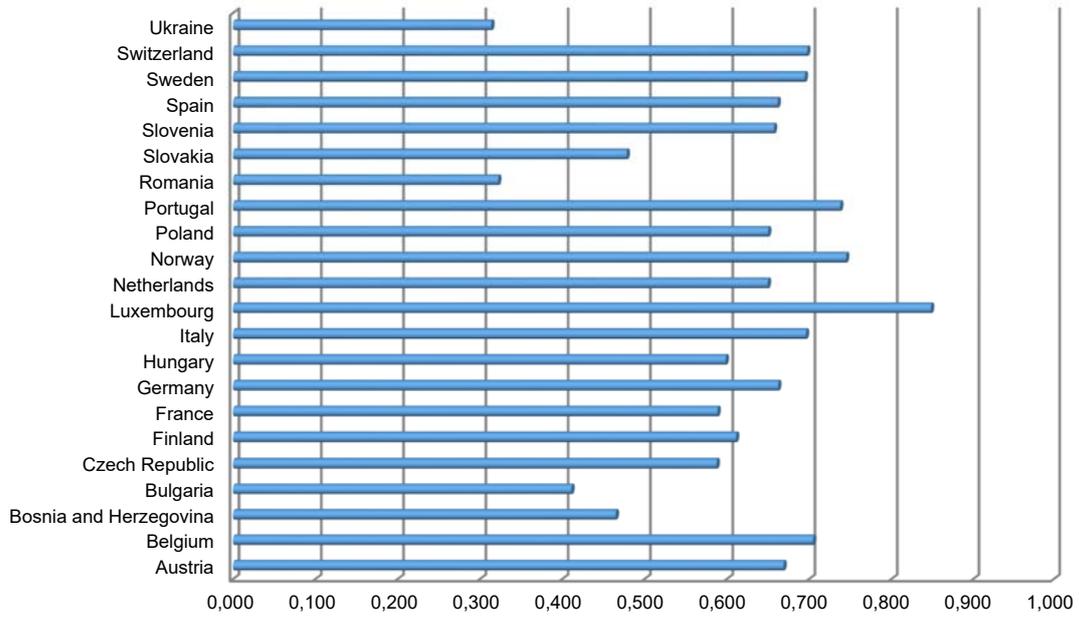
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.4 Nuclear vs no-nuclear: 10-49 empleados



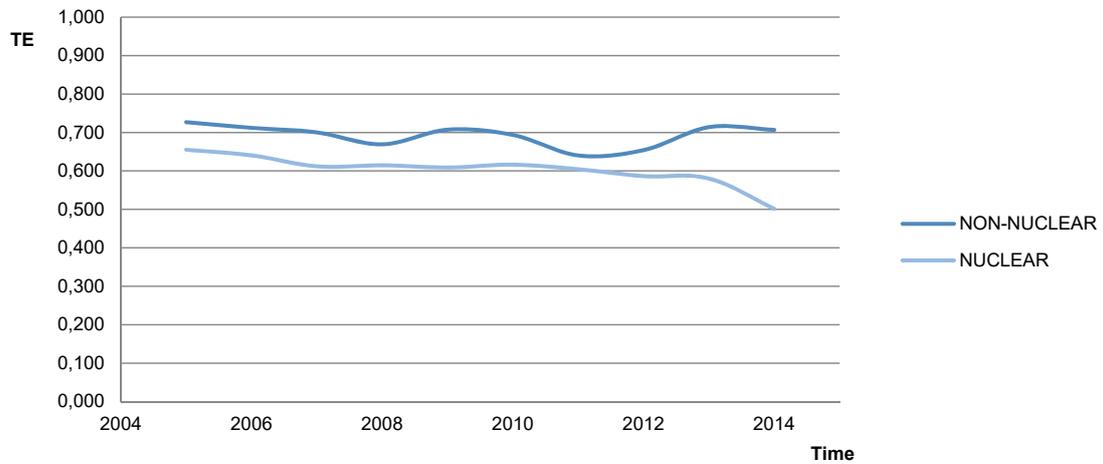
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5 Eficiencia técnica media por países: 50-249 empleados



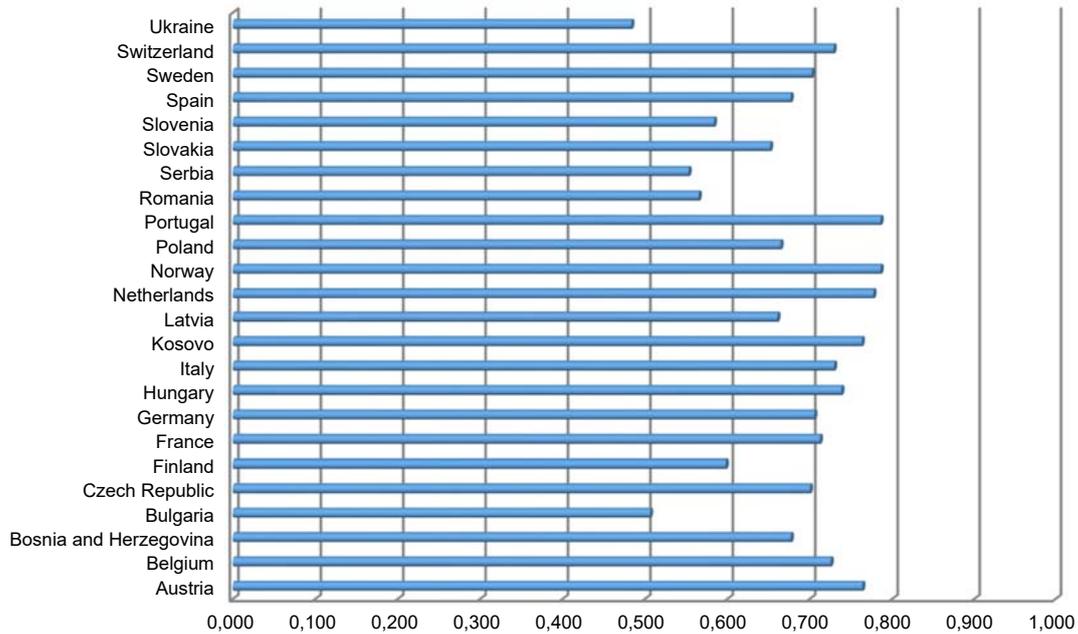
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6 Nuclear vs no-nuclear: 50-249 empleados



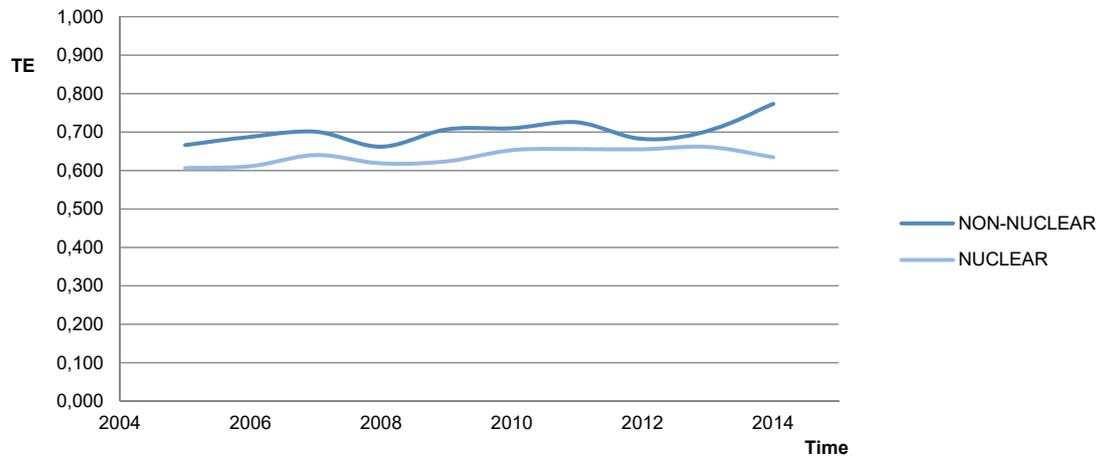
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7 Eficiencia técnica media por países: > 249 empleados



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8 Nuclear vs no-nuclear: > 249 empleados



Fuente: Elaboración propia.

Existen algunas excepciones a este comportamiento, como Serbia o Bosnia Herzegovina, con índices de eficiencia técnica por debajo de la media. También se diferencian de la media de su grupo Francia y Suiza que, teniendo producción nuclear en el interior de sus fronteras, tienen altos valores de eficiencia técnica promedio. Estas figuras, por tanto, confirman los resultados obtenidos de

estimación en el cuadro 3.2 de mayor eficiencia de las empresas productoras de energía eléctrica radicadas en países en los que no se produce energía nuclear.

Las figuras 3.2, 3.4, 3.6 y 3.8 representan los valores de eficiencia técnica promedio de las empresas según su residencia o no en países con producción nuclear. El análisis de estas figuras confirma la evolución en el tiempo de las empresas, con menos de 10 empleados y con 250 empleados o más, hacia la mayor eficiencia técnica, mientras las empresas entre 10 y 249 empleados tienden a la disminución de la eficiencia técnica con el paso del tiempo en el período. Así mismo se observa, al igual que señalaron Bonifaz y Santin (2000) para empresas del sector eléctrico de Perú, una evolución lenta de la eficiencia técnica a lo largo del período de estudio.

3.5 Conclusiones

El objetivo de esta investigación ha sido analizar si son más o menos eficientes las empresas del sector eléctrico de los países de Europa con producción de energía eléctrica con fuente nuclear en el período comprendido entre 2005 y 2014 que aquellas ubicadas en países donde no se produce electricidad a partir de fuentes nucleares. El sector de generación de energía eléctrica se ha diferenciado atendiendo al número de empleados que componen la plantilla de las empresas con el fin de analizar grupos más homogéneos.

Al inicio de este capítulo se señalaba que una regulación eficiente en materia de energía en los países europeos (estableciendo una producción máxima) habría de ser tal que la energía eléctrica producida con fuente nuclear fuera al menos igual de eficiente que la producida por otras fuentes energéticas. Si la energía eléctrica generada con fuente nuclear tiene una producción menos eficiente como

Capítulo 3: La paradoja de la regulación energética: evidencia de la ineficiencia de la energía nuclear en Europa

consecuencia de la regulación, se está favoreciendo a las empresas con fuentes no nucleares.

Con este fin se han analizado empresas generadoras de energía eléctrica empleando modelos de análisis de eficiencia técnica con la metodología fronteras estocásticas y variabilidad temporal de (Battese y Coelli, 1995). Este estudio se ha realizado en el ámbito geográfico de Europa en sentido amplio en el período 2005-2014.

Los resultados obtenidos son coherentes con la realidad del sector eléctrico en Europa. Se ha encontrado evidencia empírica de la mayor eficiencia técnica de las empresas productoras de energía eléctrica situadas en países sin producción nuclear en su mix energético frente a aquellos en los que se produce electricidad procedente de esta fuente de energía primaria. Este resultado se justifica por los límites en la producción máxima de fuente nuclear que permiten los gobiernos, lo que introduce efectos negativos en la eficiencia al no poder aprovechar adecuadamente la capacidad de producción nuclear. Es lo que podemos denominar la paradoja de la regulación energética: las empresas reguladas con producción máxima producirán con mayor ineficiencia que el resto de empresas no reguladas, favoreciendo el interés de unas determinadas empresas frente a otras.

Esta paradoja de la regulación energética se da en el sector eléctrico europeo. Por un lado, pese a la mayor eficiencia técnica de la producción de electricidad a partir de fuentes nucleares frente al resto de formas productivas, por término medio son más eficientes técnicamente las empresas pertenecientes a países sin producción nuclear en su mix energético, debido a las progresivas limitaciones de producción

máxima con fuente nuclear⁷. Por el contrario, un país con gran parte de producción de energía con fuente nuclear como Francia (MINETUR, 2013), tiene niveles elevados de eficiencia técnica por sus menores barreras y limitaciones máximas a esta forma de producción de energía eléctrica.

⁷ La elevada capacidad instalada en las centrales de producción nuclear puede satisfacer niveles de demanda altos en momentos pico. Sin embargo, su producción normal se limita con máximos, forzando una disminución de los niveles normales de eficiencia técnica, en favor de la producción de otras tecnologías.

Capítulo 3: La paradoja de la regulación energética: evidencia de la ineficiencia de la energía nuclear en Europa

CAPÍTULO 4

LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS ESPAÑOLAS:

¿PROMUEVEN LAS AUTORIDADES LA EXCELENCIA
AMBIENTAL?

4.1 Introducción

La preservación del medio ambiente no solo es un tema “nuevo” y “de moda”, sino que es una tarea difícil de afrontar. Desde la extracción de los recursos naturales hasta la eliminación de los desechos, todos los procesos económicos tienen que buscar la excelencia, o en otras palabras, los agentes económicos deben perseguir la eficiencia (Theißen, Spinler y Huchzermeier, 2014).

La producción de electricidad juega un papel esencial en la protección/degradación del medio (Seifert, Cullmann y von Hirschhausen, 2016). Se emplean recursos naturales de manera intensiva y se generan grandes cantidades de contaminación (42% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono durante 2015 (IEA, 2017)). Por lo tanto, y debido a lo extendido del uso de la electricidad (no se espera que disminuya), la búsqueda de la excelencia ambiental en la producción de energía eléctrica es un objetivo fundamental a alcanzar, como se indicaba en el capítulo introductorio.

La mayoría de los agentes económicos están involucrados en la preservación del medio ambiente y todos ellos pueden colaborar en la reducción de los impactos no deseados que se generan: los proveedores deben introducir medidas productivas y de gestión para generar la cantidad máxima de electricidad y mínima de contaminación con el empleo de la mínima cantidad de recursos posible, y reduciendo las pérdidas que se sufren desde los puntos de producción hasta los de consumo; los consumidores pueden reducir el uso de electricidad al adquirir máquinas más eficientes; y, finalmente, las autoridades deben promover medidas regulatorias para cumplir los objetivos ambientales (Carballo-Penela et al., 2017).

Capítulo 4: Las empresas eléctricas españolas: ¿Promueven las autoridades la excelencia ambiental?

En lo relativo a la generación de electricidad, la regulación trata de reducir los impactos ambientales derivados de los procesos de producción. Entre las medidas destinadas a reducir los efectos adversos de la producción eléctrica destacan la limitación de las emisiones permitidas, la asignación de subsidios o la implementación de instrumentos de mercado (Carballo-Penela et al., 2017).

En la Unión Europea, la Directiva 2003/87/CE (transpuesta a la legislación española mediante la Ley 1/2005) se espera que sea el instrumento para la internalización de las externalidades de las empresas. Con su aplicación se limita la cantidad de emisiones directas de gases de efecto invernadero y se regula el comercio de derechos de emisión.

Es oportuno señalar que la limitación del volumen de emisiones y los márgenes de emisión desempeñan un papel importante en la toma de decisiones de las compañías eléctricas (Sartori, Witjes y Campos, 2017). La Ley supone un desafío para las empresas sujetas a permisos de emisión, ya que se hacen necesarios nuevos esfuerzos para reducir las emisiones o participar en el mercado para adquirir permisos adicionales. Las empresas del sector deberán elegir entre adaptar sus instalaciones o adquirir derechos de emisión adicionales para cumplir con la regulación y el límite establecido conforme a esta. Por tanto, las Autoridades deben tener en cuenta los costes privados que podrían conllevar las medidas regulatorias para no afectar negativamente las decisiones de inversión de las empresas (Gupta y Sravat, 1998) o reducir la productividad (Averch y Johnson, 1962; Guo et al., 2017).

La Directiva 2003/87/CE establece los criterios de reducción de emisiones en función del coste económico de la tecnología necesaria para conseguir el objetivo. De este modo se asignan mayores tasas de reducción de emisiones a los sectores

productivos donde los costes de mejora son más bajos. Además, la Ley 1/2005 reconoce la necesidad de garantizar la competitividad industrial y la asignación de permisos coherente con las posibilidades técnicas y económicas de la reducción de emisiones.

Si bien el regulador diseña los instrumentos del mercado para afectar en la menor medida posible los costes y la toma de decisiones de las empresas señalada por Sartori, Witjes y Campos (2017), resulta interesante evaluar si los impactos positivos en la excelencia ambiental (reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero) están equilibrados con los impactos negativos de las propias medidas legislativas (incrementando los costos de producción). Con este fin, se utilizará el índice de eficiencia técnica para evaluar la excelencia ambiental. No se ha encontrado en la literatura existente análisis anteriores sobre el impacto del comercio de emisiones en el comportamiento ambiental de las compañías eléctricas españolas.

4.2 Regulación

En las últimas décadas, muchos gobiernos han asumido la necesidad de cuidar el medio ambiente y han firmado acuerdos internacionales para reducir los impactos ambientales. Como resultado de estos acuerdos internacionales, los gobiernos han limitado sus emisiones, han financiado tecnologías verdes y han implementado medidas correctivas de mercado.

La Directiva 2003/87/CE establece el esquema general para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero dentro de la Comunidad Europea, basado en los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto (mecanismo para un desarrollo limpio, implementación conjunta y comercio de

Capítulo 4: Las empresas eléctricas españolas: ¿Promueven las autoridades la excelencia ambiental?

emisiones). El objetivo principal de la Ley 1/2005 es transferir los objetivos ambientales del país a las empresas que emiten gases de efecto invernadero para reducir las emisiones, lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera y cumplir con los compromisos de la Comunidad y los Estados Miembros.

Desde 2005, las empresas tienen (o deben adquirir) permisos para emitir una determinada cantidad de gases de efecto invernadero. Anualmente, las instalaciones deben auditar e informar a la autoridad las emisiones que han realizado (Ley 1/2005).

Hasta la fecha, la aplicación del reglamento se ha dividido en tres períodos regulatorios a fin de conseguir la mejor adaptación de las empresas. Durante los dos primeros períodos, 2005-2007 (período piloto) y 2008-2012, se proporcionó anualmente una cantidad de derechos gratuitos a las instalaciones emisoras (cada período menor que el anterior). Para adquirir derechos de emisión adicionales, las empresas deben utilizar alguno de los instrumentos de mercado previstos en el Protocolo de Kyoto.

Desde la entrada en vigor de la ley de 2005, se han aplicado una serie de cambios al mercado. Hasta 2013, el único gas de efecto invernadero considerado era el dióxido de carbono y la asignación de derechos de emisión la realizaba el Estado (en función de las previsiones de actividad de las instalaciones). Desde entonces, las emisiones de óxido nitroso y perfluorocarburos también están sujetas a la obtención permisos de emisión, nuevos sectores de actividad se han visto afectados por la regulación, y la asignación de permisos la realiza la Autoridad designada por la Comisión Europea (en función del nivel de actividad histórico de la subestación y la referencia del 10% de las instalaciones más eficientes). Así mismo,

desde 2013 las instalaciones eléctricas deben recurrir al mercado (o a la subasta) para adquirir todos los permisos que necesitan para generar electricidad.

4.3 Revisión literaria

La sostenibilidad es un tema de gran interés en la literatura económica. Las empresas transforman sus procesos de producción para gestionar y reducir las emisiones de carbono producidas y para ahorrar (los escasos) recursos naturales (por ejemplo, Burritt, Schaltegger y Zvezdov, 2011; Carballo-Penela et al., 2017; Davison y Hinkley, 1997; Giannarakis, Zafeiriou y Sariannidis, 2017; Schaltegger y Csutora, 2012; Theiße, Spinler y Huchzermeier, 2014). Los consumidores, por su parte, demandan cada vez más productos y servicios respetuosos con el medio ambiente (Finkbeiner, 2009; Stechemesser y Guenther, 2012).

El interés del estudio de la eficiencia técnica radica en la necesidad de mejorar la combinación de recursos para obtener el máximo producto deseable (producción a la venta) y el mínimo producto no deseable (producto no a la venta o que supone coste) posible (Rolf Färe y Grosskopf, 2004; Seiford y Zhu, 2002). Un gran número de estudios han investigado la eficiencia en el sector energético (Fallahi, Ebrahimi y Ghaderi, 2011; Yang y Pollitt, 2009). Numerosos estudios han evaluado los determinantes de la eficiencia de las compañías eléctricas (Goto y Tsutsui, 1998; Rączka, 2001; Thakur, Deshmukh y Kaushik, 2006; Tao, Guo y Yang, 2008; Gharneh et al., 2014) y han analizado la influencia de la forma de gestión (pública o privada) en la eficiencia de la empresa (Plane, 1999; Thakur, Deshmukh y Kaushik, 2006). También se ha analizado el impacto de factores externos, como los efectos reguladores. En este sentido, Goto y Tsutsui (2008) encontraron niveles de eficiencia menores en compañías ubicadas en estados de EEUU con una desregulación avanzada. Además, Yang y Pollitt (2009) encontraron que un 10%

Capítulo 4: Las empresas eléctricas españolas: ¿Promueven las autoridades la excelencia ambiental?

de la ineficiencia de las centrales eléctricas de carbón chinas se debe al efecto de variables incontrolables.

Dado que las empresas generadoras de energía contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, con el dióxido de carbono como el principal contaminante (Seifert, Cullmann y von Hirschhausen, 2016), la reducción de los gases de efecto invernadero emitidos por estas se ha convertido en fundamental para preservar el medio ambiente y lograr el cumplimiento de los acuerdos internacionales. Siendo las emisiones un aspecto importante en la sostenibilidad corporativa (Sartori, Witjes y Campos, 2017), interesa considerar las emisiones de dióxido de carbono al medir la eficiencia técnica (Arcelus y Arocena, 2005) y el efecto que tienen las regulaciones ambientales en ella.

Zhao, Yin y Zhao (2015) encontraron un mejor desempeño de las regulaciones basadas en el mercado (créditos fiscales, mecanismo de desarrollo limpio y sistemas de comercio de emisiones) y los subsidios gubernamentales que las regulaciones de control sobre eficiencia y reducción de emisiones de 113 empresas eléctricas en China, probablemente debido a la falta de flexibilidad en la gestión. Por su parte, Seifert, Cullmann y von Hirschhausen (2016) indicaron que la regulación (europea) existente favorecía a los sistemas de generación de contaminantes y que las regulaciones basadas en el mercado (y, por lo tanto, el precio de los derechos de emisión) no estaban conduciendo a la reducción de las emisiones. En el mismo sentido, Sartori, Witjes y Campos (2017) mostraron que la ineficiencia puede estar relacionada con los requisitos regulatorios escasos y la falta de presión social.

Sin embargo, la eficiencia de las empresas de energía teniendo en cuenta los resultados deseables e indeseables no se ha analizado ampliamente en la literatura.

Se han encontrado aplicaciones al estudio de la eficiencia de los países (Arcelus y Arocena, 2005; Zhou, Poh y Ang, 2007; Lu et al., 2013). Guo et al. (2017) destacaron que algunos países han reducido su eficiencia al disminuir sus emisiones. Como se indicaba en el apartado introductorio de este capítulo, la regulación ambiental puede afectar la toma de decisiones de las empresas. Por tanto, la reducción de emisiones no debe hacerse a costa de disminuir la productividad o la eficiencia, dado que esto podría afectar negativamente a los esfuerzos innovadores y limitaría la implementación de políticas de energía renovable (Marques, Fuinhas y Pires Manso, 2010).

4.4 Metodología

En términos económicos, el grado de cumplimiento de la excelencia ambiental se podría definir como la eficiencia técnica (relativa), medida por la relación de la producción real sobre la producción máxima alcanzable con la tecnología existente sin aumentar las cantidades de factores de entrada.

En este análisis se aplicará un proceso de dos etapas. En la primera etapa se utilizará la metodología no paramétrica DEA implementada en una función distancia hiperbólica (desarrollada por Färe et al. (2016)) para calcular los niveles de eficiencia de las empresas. La selección de la metodología DEA se basa en la literatura existente, ampliamente utilizada para tener en consideración tanto la producción deseada como la no deseada obtenida (Seiford y Zhu, 2002; Färe y Grosskopf, 2004; Arcelus y Arocena, 2005; Zhou, Poh y Ang, 2007; Yang y Pollitt, 2009; Lu et al., 2013; Seifert, Cullmann y von Hirschhausen, 2016; Guo et al., 2017). En la segunda etapa se aplica el método Tobit para evaluar la influencia del precio y la regulación de las emisiones (desarrollado por Tobin (1958) y ampliado por Rosett y Nelson (1975)).

4.4.1 Frontera de producción e índices de eficiencia

La propuesta de Färe et al. (2016), basada en Färe, Grosskopf y Lovell (1985), permite la definición de la frontera de producción como una distancia hiperbólica bajo rendimientos variables a escala (en adelante, RVE) para obtener los coeficientes de eficiencia técnica de las empresas. Con esta metodología se obtiene una distancia semi-radial y no orientada considerando tanto la producción deseable (bienes) como la no deseable (malos).

Una vez definida la frontera mediante técnicas de programación lineal, la ineficiencia se calcula como la distancia del punto representativo de producción (con inputs y outputs realmente utilizados por las empresas) a la frontera. Las compañías situadas sobre la frontera serán consideradas eficientes.

La expresión (4.1) muestra la formulación de la distancia hiperbólica bajo RVE:

$$\begin{aligned} \min \theta_i & & (4.1) \\ \text{s. t.: } \lambda X & \leq \theta_i X_i \\ Y \lambda & \geq \frac{1}{\theta_i} Y_i \\ \sum_i \lambda_i & = 1 \\ \lambda_i & \geq 0 \end{aligned}$$

donde θ_i es un escalar menor o igual a la unidad que representa la eficiencia técnica de la i -ésima observación (un valor igual a uno implica que la empresa es totalmente eficiente), λ es el vector de pesos (constantes) utilizado para conectar los vectores de inputs y outputs por una combinación convexa, X es un vector de inputs, e Y es un vector de producción (deseable y no deseable).

4.4.2 Determinantes de eficiencia

En la segunda etapa se analiza el impacto de las variables de interés (exógenas) en la eficiencia técnica de las empresas. Con este fin se ha seleccionado el modelo de Tobit (Rosett y Nelson, 1975; Tobin, 1958) en (4.2), evitando así el sesgo que la variable de eficiencia técnica (variable dependiente censurada) puede introducir en una estimación convencional.

$$Y_i^* = \delta_p Z_{pi} + u_i \quad (4.2)$$

$$Y_i = 0 \text{ si } Y_i^* < 0 ; Y_i = Y_i^* \text{ si } 0 \leq Y_i^* \leq 1 ; Y_i = 1 \text{ si } Y_i^* > 1$$

Donde Y^* e Y son una variable dependiente latente (no observada) y la variable dependiente observada (censurada al intervalo $[0,1]$), respectivamente; δ es un vector de parámetros desconocidos objeto de estimación; Z es un vector de variables determinantes de la eficiencia; y u es una variable aleatoria supuesta distribuida según una normal de media cero y varianza σ^2 .

4.5 Datos

Para evaluar la influencia de la regulación del mercado de emisiones en la excelencia ambiental de las empresas de generación eléctrica españolas obligadas a declarar las emisiones de gases de efecto invernadero, se han recopilado datos del Banco Mundial (2017), SABI (2017), SendeCO₂ (2017) e informes nacionales de emisiones (MAPAMA, 2017). La muestra final utilizada en esta investigación consiste en un panel no balanceado de 210 observaciones, constituido por 50 empresas en el período 2008-2016.

Capítulo 4: Las empresas eléctricas españolas: ¿Promueven las autoridades la excelencia ambiental?

Las variables input y output se han seleccionado en base a la revisión de la literatura existente y a los datos disponibles para el estudio. Los ingresos (I) se seleccionaron como producción deseada (output bueno) y las emisiones de dióxido de carbono verificadas (EV) como producción no deseada (output malo). Por otro lado, las variables de entrada utilizadas fueron el capital (K , medido por el valor neto del activo fijo afecto a la actividad), el trabajo (L , medido por el número de empleados) y los consumos intermedios (CI , medidos por los materiales y servicios utilizados en los servicios comerciales, distintos de capital y trabajo).

Las variables determinantes de la eficiencia técnica consideradas en este estudio son el precio de los permisos de emisión (P), el tercer período regulatorio en materia de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (Reg) y TL , la relación entre el número de permisos obtenidos mediante proyectos basados en inversiones de tecnología limpia (CE , la suma de los certificados de reducción de emisiones, CER, más las unidades de reducción de emisiones, ERU) y las emisiones verificadas. Reg es una variable dicotómica que recoge el efecto de las modificaciones introducidas en el tercer período regulatorio del comercio de derechos de emisión, y toma el valor uno de 2013 a 2016 y cero en caso contrario.

Las variables monetarias I , K , IC y P se han obtenido de la base de datos a precios corrientes, y se han convertido a precios constantes de 2015 utilizando el deflactor del PIB extraído de la base de datos del Banco Mundial (2017).

El cuadro 4.1 muestra los estadísticos descriptivos de las variables utilizadas en este estudio.

Cuadro 4.1. Estadísticos descriptivos

Variable		Media	Mín.	Mediana	Máx.	Des. Típ.
Ingresos	I	1.505.236	3.372	79.014	22.662.431	3.722.024
Emisiones Verificadas	EV	2.584.568	5	281.909	28.669.566	4.896.754
Trabajo	L	493,3	1	29	3.170	857,67
Capital	K	1.044.429	7	235.965	7.199.242	1.835.114
Consumos Intermedios	CI	1.078.844	5	17.647	18.830.889	2.914.691
Precio	P	9,00	3,88	6,68	19,67	4,53
Permisos Proy. Limpia	CE	512.103	0	31	24.910.521	2.002.500

Nota: Variables en unidades (EV, L, CE), euros (P) o miles de euros (I, K, CI).

Fuente: Elaboración propia.

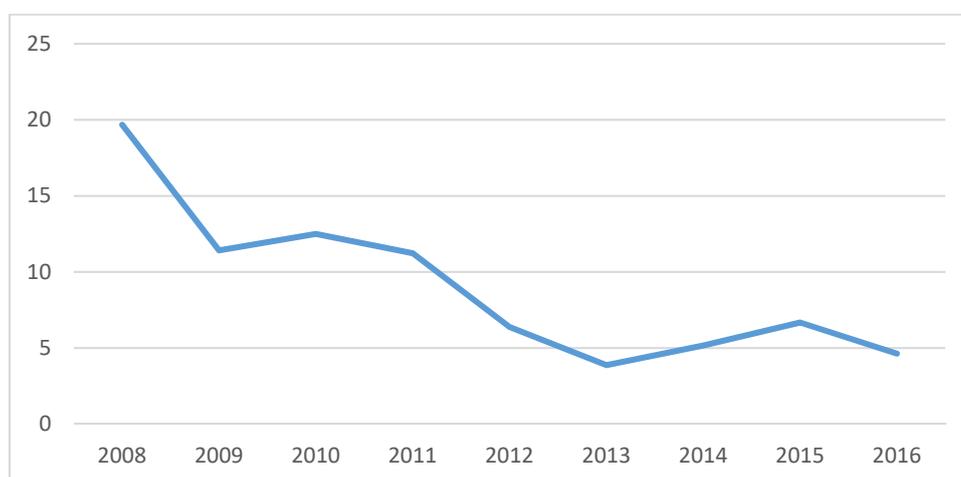
El cuadro 4.1 muestra que la mayor parte de las compañías analizadas en estudio son de pequeño y mediano tamaño dado que el 50% de las empresas tienen menos de 30 empleados. Este hecho se observa también en el volumen de emisiones que el 50% de las compañías eléctricas ha emitido en el período, inferior a 282.000 toneladas de CO₂, siendo el máximo volumen de emisiones superior a 28 millones de toneladas.

Los datos también señalan la existencia de heterogeneidad en el sector eléctrico. Un reducido número de empresas que pueden emitir una gran cantidad de CO₂ a la atmósfera (oligopolios), mientras una amplia gama de empresas de tamaño pequeño o mediano emite cantidades de CO₂ muy inferiores.

La figura 4.1 muestra la evolución del precio medio anual de los derechos de emisión. Se observa una tendencia negativa en el precio desde 2008, el más alto desde entonces. El mercado de permisos de emisión entró en funcionamiento en 2008, en el segundo período regulatorio y al comienzo del tercer período

regulatorio, el precio había caído más de la mitad. Desde 2013, el precio de los derechos de emisión se ha mantenido más estable, en una banda (constante) de entre 3,88 € (línea azul de la figura 4.1) y 6,68 € (línea roja) por tonelada. Conviene señalar que este precio es sustancialmente más bajo que el rango de precios sugerido en varios estudios para fomentar las inversiones en tecnologías bajas en carbono, situado en la banda de los 35 y 50 \$ (Echeverri, 2006; Bergerson y Lave, 2007; Sekar et al., 2007).

Figura 4.1 Evolución del precio de los permisos de emisión



Fuente: Elaboración propia a partir de SendeCO₂ (2017).

4.6 Resultados y discusión

En la distancia hiperbólica utilizada para definir la frontera se consideraron tanto los outputs deseables como los no deseables obtenidos en el proceso productivo. En este marco, las empresas incrementarán su eficiencia (excelencia ambiental) al aumentar los resultados buenos o disminuir los malos (Rolf Färe y Grosskopf, 2004; Seiford y Zhu, 2002). Además, las empresas pueden lograr mayores niveles de eficiencia al reducir los insumos. En este sentido, la existencia de “fuerzas de

mercado” que obligan a las empresas a reducir su producción no deseada pueden hacer que aumenten sus niveles de eficiencia.

Por otra parte, las empresas pueden hacer crecer su producción deseada y, por tanto, su eficiencia, al aumentar los factores productivos. Sin embargo, para reducir las emisiones, también necesitan aumentar los insumos o, al menos, emplear recursos económicos para cambiar o adaptar sus sistemas de producción. Por lo tanto, las mismas “fuerzas del mercado” también podrían reducir los niveles de excelencia ambiental de las empresas.

Siguiendo la metodología de dos etapas descrita en la sección 4, este apartado presenta los resultados del impacto de la regulación del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la eficiencia de las compañías eléctricas.

Siguiendo la expresión (4.2), el modelo de Tobit especificado en (4.3) evalúa el impacto de la regulación en la eficiencia técnica de las compañías eléctricas con variable dependiente limitada al intervalo $[0,1]$ (respectivamente, valores mínimos y máximos de eficiencia alcanzables).

$$TE_{it}^* = \beta_0 + \beta_1 P_t + \beta_2 Reg_t + u_{it} \quad (4.3)$$

$$TE_{it} = 0 \text{ if } TE_{it}^* < 0 ; TE_{it} = TE_{it}^* \text{ if } 0 \leq TE_{it}^* \leq 1 ; TE_{it} = 1 \text{ if } TE_{it}^* > 1$$

Donde Reg y P son variables que tratan de recoger el efecto de la regulación en materia de emisiones. La primera de las variables recoge el impacto de los cambios introducidos en el tercer período regulatorio (desde 2013) y la segunda el efecto del precio de los derechos de emisión en el mercado.

Cuadro 4.2. Resultados de la regresión Tobit (segunda etapa)

Variable		Coef. (Desv.)		Sig.
Constante	β_0	0,735	(0,043)	***
Precio (P)	β_1	0,009	(0,004)	**
Regulación (Reg)	β_2	0,147	(0,033)	***

Nota: ***, ** y * son los niveles de significación de las variables al 99%, 95% and 90%, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 4.2 muestra los resultados de estimación de la función especificada en (4.3). Conforme a los resultados alcanzados, el aumento de los precios (variable significativa) de los derechos de emisión ha influido de manera positiva en la eficiencia técnica. Esto significa que, aunque las empresas han tenido que usar más recursos en sus actividades productivas, durante el período de estudio han tratado de mejorar su rendimiento para lograr sus resultados. Este resultado sigue lo señalado por Da Silva, Moreno y Figueiredo (2016), que indicaba que el precio de las emisiones de CO₂ podría influir en la combinación elegida de factores productivos que las empresas utilizan en sus procesos de producción de electricidad y, por lo tanto, afectar su eficiencia técnica.

Además, las compañías analizadas compiten en el mercado con otras que producen electricidad a partir de fuentes renovables que no están sujetas al sistema de comercio de derechos de emisión (no necesitan adquirir derechos de emisión) o necesitan cantidades menores. En este sentido, las empresas emisoras también deben mejorar su eficiencia para reducir el coste en la producción de bienes y/o servicios, para competir en el mercado con empresas con diferentes tecnologías de producción.

Las nuevas medidas regulatorias aplicadas en el tercer período (de 2013 a 2020) incluyen la modificación en la asignación de permisos gratuitos. Desde 2013, las

instalaciones de energía no han recibido derechos de emisión gratuitos (que sí otorgaba el Gobierno en períodos anteriores) y deben adquirir la cantidad total que necesitan en el mercado. Este cambio en términos regulatorios podría haber afectado negativamente la eficiencia de las empresas debido a la limitación de emisiones y la necesidad de comprar todos los derechos, lo que necesariamente aumenta sus costes. Por contra, la variable que recoge el efecto del último período regulatorio tiene un signo positivo y, por tanto, esta regulación ha afectado positivamente la eficiencia de las compañías eléctricas. Este resultado, distinto del encontrado por Guo et al. (2017) en los países de la OCDE, significa que el proceso de adaptación de la gestión de la producción y el esfuerzo económico adicional necesarios tras el cambio regulatorio son menores que las ganancias derivadas de la reducción de emisiones en términos de eficiencia.

Además de la asignación gratuita de derechos y la posibilidad de adquirirlos en el mercado, las empresas pueden obtener derechos de emisión a través de proyectos y actividades basados en la inversión en tecnología limpia para ahorrar emisiones en países en desarrollo (Mecanismos de Desarrollo Limpio según el Protocolo de Kyoto).

El cuadro 4.3 muestra los resultados de la regresión de un modelo de Tobit similar al especificado en la expresión (5), incluida una variable que recoge el efecto de los permisos obtenidos mediante proyectos basados en tecnologías limpias (Tl) en la eficiencia. Los signos de los coeficientes asociados con las variables precio, P , y regulación, Reg , coinciden con los que se mostraban en el cuadro 4.2 y los valores de los coeficientes asociados son similares.

Tabla 4.3. Resultados de la regresión Tobit (segunda etapa considerando proyectos basados en los mecanismos de flexibilización del Protocolo de Kyoto)

Variable		Coef.	(Desv.)	Sig.
Constante	β_0	0,749	(0,044)	***
Precio (P)	β_1	0,008	(0,004)	**
Regulación (Reg)	β_2	0,145	(0,032)	***
Permisos Proy. Tec. Limpia (Tl)	β_3	-0,032	(0,017)	*

Nota: ***, ** y * son los niveles de significación de las variables al 99%, 95% and 90%, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Interesa señalar que el resultado deseable del coeficiente asociado a la variable Tl sería positivo, de modo que los recursos económicos que las empresas emplean no solo se sirvan para adquirir derechos, sino también para reducir efectivamente las emisiones de gases de efecto invernadero. El signo negativo de la variable Tl obtenido de la estimación significa que el incremento de los proyectos o actividades para la reducción de emisiones en los países en desarrollo disminuye la eficiencia técnica y, por lo tanto, en el escenario actual, sería mejor para la eficiencia de las empresas reducir este coste.

4.7 Conclusiones

En las últimas décadas, muchos gobiernos han asumido la necesidad de cuidar el medio ambiente y han firmado acuerdos internacionales para reducir los impactos negativos de la contaminación. Como resultado de estos acuerdos internacionales, los gobiernos han implementado medidas regulatorias y de mercado dirigidas a reducir las cantidades de desechos y polución.

En España, la Ley 1/2005 transpuso el reglamento europeo por el que se establece el régimen de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (Directiva 2003/87/CE). Este reglamento, implementado para reducir las emisiones

procurando los menores costes posibles de la reducción de tales emisiones en la Unión Europea, recoge el tipo de instalaciones que deben estar sujetas a derechos de emisión, limita las emisiones y establece la forma de asignar los permisos a las empresas.

El objetivo principal de este capítulo es evaluar la influencia del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en el comportamiento ambiental de las compañías eléctricas, responsables de la emisión de grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera. Con este fin, se ha empleado un enfoque no paramétrico basado en una distancia hiperbólica (Färe et al., 2016) para obtener los niveles de excelencia ambiental (medidos por el índice de eficiencia técnica teniendo en cuenta la producción deseable y no deseable) de 50 empresas eléctricas españolas sujetas a comercio de derechos de emisión en el período 2008-2016. En una segunda etapa se ha utilizado el modelo de Tobit (Rosett y Nelson, 1975; Tobin, 1958) para evaluar la influencia de variables relacionadas con el mercado de emisiones en tales niveles de eficiencia técnica.

El tercer período de la regulación del mercado de emisiones (2013-2020), entre otras medidas, anula la asignación gratuita de derechos de emisión a compañías eléctricas, por lo que estas deben adquirir desde 2013 todos los permisos de emisión en el mercado. Esta medida podría haber influido negativamente la eficiencia de las empresas, ya que afecta directamente a sus costes por la necesidad de invertir en nueva tecnología y sus factores productivos. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran un impacto positivo de este período regulatorio en la eficiencia. Este efecto positivo sugiere que las empresas han mejorado su desempeño, excelencia ambiental, para compensar el consumo creciente de recursos.

El precio de los derechos de emisión también ha influido en la eficiencia técnica de las empresas. El aumento de los precios de los permisos conduce a incrementos de los niveles de eficiencia. Los estudios en la materia generalmente han encontrado que se requerirán precios de entre 35 y 50 dólares por tonelada métrica de CO₂ para inducir a la empresa privada a invertir en tecnologías bajas en carbono (Echeverri, 2006; Bergerson y Lave, 2007; Sekar et al., 2007). Además, Newcomer et al. (2008) encontraron que si se impusiera instantáneamente un precio de 35 \$ por tonelada de CO₂ se conseguirían reducciones significativas de CO₂ a través de la respuesta de la demanda antes de que se implementara cualquier nueva tecnología. Sin embargo, desde 2008 el precio ha caído más de la mitad (SendeCO₂, 2017) y contaminar se ha vuelto más barato.

El precio de mercado de los permisos está limitado por el número de permisos pendientes y los instrumentos de flexibilidad (alternativos) (CER y ERU). Por lo tanto, la caída en los precios se debe, entre otras cosas, a un exceso de oferta de permisos.

La proporción de las unidades de reducción de emisiones (ERU) y de certificados de reducción de emisiones (CER) sobre el total de emisiones ha afectado negativamente a la eficiencia de las empresas de energía. Estos instrumentos fueron diseñados para flexibilizar el mercado de emisiones y aumentar la eficiencia de todo el sistema. Naturalmente, sería deseable un impacto positivo, por lo que las empresas preferirían gastar recursos para reducir las emisiones en países en desarrollo en lugar de adquirir permisos en el mercado. Sin embargo, este resultado contrario indica que, en términos de eficiencia, resulta mejor reducir la inversión en estos proyectos.

En línea con estos resultados, la principal conclusión de esta investigación es que la regulación del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero necesita un mayor desarrollo (Sartori Witjes y Campos, 2017). Aunque hay evidencia del impacto positivo del mayor precio de los permisos de emisión y la regulación en la excelencia ambiental de las empresas, la fuerte caída del precio de los permisos en el mercado y el impacto negativo de los proyectos basados en la inversión en tecnologías limpias llevan a la conclusión de que la regulación europea no está favoreciendo la reducción de emisiones (Seifert, Cullmann y von Hirschhausen, 2016) y que el mercado debiera ser intervenido para mantener los precios altos (Chappin y Dijkema, 2009), o, al menos, para hacer que los proyectos de reducción de emisiones sean más atractivos para las empresas, como se establece en el Protocolo de Kyoto.

CAPÍTULO 5

DESREGULACIÓN ENERGÉTICA EN HIDROCARBUROS: ANÁLISIS DE IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE LOS PRINCIPALES PUERTOS IMPORTADORES EN ESPAÑA (1986-2013)⁸

⁸ Este artículo es una versión depurada de Coto-Millán et al. (2019)

5.1 Introducción

La apertura comercial de los países a los mercados internacionales resulta fundamental para el progreso del tejido industrial y el crecimiento de la economía. El transporte marítimo tiene un papel destacado en el comercio internacional. En España, la cuota de transporte marítimo asciende a un 31% sobre el total de mercancías movidas, de las cuales un 75% son de exportación e importación (INE, 2016; Puertos del Estado, 2016). El negocio portuario español, y por tanto la actividad portuaria realizada en los 46 puertos de interés general gestionados por 28 Autoridades Portuarias (Puertos del Estado, 2016) supone el 1,1% del PIB nacional y el 20% del PIB del sector transporte (PIPE, 2016).

Las Autoridades Portuarias, con tráficos y exigencias diferentes por la variedad de mercancías movidas y servicios prestados, y las características productivas de las regiones a las que dan servicio, pueden alcanzar distintos niveles de eficiencia. En los puertos hay diferentes demandas, mercancías movidas e incluso diferente tecnología empleada en el tratamiento de las mercancías. En este sentido, merece especial atención el tráfico de productos petrolíferos, que puede considerarse altamente eficiente por la posibilidad de descarga de grandes cantidades de mercancía con empleo de recursos materiales y humanos relativamente inferiores a otros.

El precio de los hidrocarburos, el reparto desigual de los yacimientos en el territorio (en España solo el 1% de la energía producida son hidrocarburos, en la UE 28 el 25% y a nivel mundial el 52%) y la generalización de su consumo (un 55% del consumo mundial de energía procede de fuentes petrolíferas; en la UE 28 y en España el consumo de productos petrolíferos asciende al 64% y 67% del total,

respectivamente) han conducido a la preocupación de empresarios y Gobierno por la optimización de su empleo, su demanda y la obtención de sistemas alternativos de abastecimiento y aprovechamiento energético (IEA, 2016).

La principal vía de importación de productos petrolíferos en España, en forma de graneles líquidos, es la marítima. En 2013 ascendía al 27% del total de mercancías movidas en los puertos españoles (Puertos del Estado, 2016).

La regulación en materia de hidrocarburos (que se resume en el segundo apartado de este capítulo), por su elevado impacto en la economía general, se ha orientado al aseguramiento del suministro, a la estabilización de precios y al incremento de la eficiencia del sector, así como del resto de sectores de la economía. Destaca, en este sentido, el negocio portuario, por ser un actor fundamental en el proceso desde la producción hasta el consumo final de productos petrolíferos y un indicador de competitividad de la economía general del país.

El objetivo principal de este estudio es conocer los niveles de eficiencia técnica de los principales puertos españoles de importación de productos petrolíferos y revelar la influencia de la regulación en materia de hidrocarburos, sancionada al objeto de incrementar la eficiencia de todos los sectores productivos (y con ello la competitividad internacional) sobre tales niveles de eficiencia en el período 1986-2013.

El resto del capítulo se estructura como sigue: en el segundo apartado se revisan las principales características del marco regulatorio en materia de hidrocarburos desde la creación del Monopolio de Hidrocarburos en 1927 hasta el final del período de estudio; en el tercer apartado se realiza una revisión de la literatura existente de estudios de eficiencia técnica de las actividades portuarias; el

apartado cuarto contiene una descripción de la metodología y los datos empleados en el estudio; en el quinto apartado se muestra la especificación del modelo econométrico empleado en el análisis empírico y en el sexto apartado los resultados obtenidos. Finalmente, en el séptimo apartado se exponen las conclusiones alcanzadas en esta investigación.

5.2 Marco regulatorio en España

5.2.1 Contexto histórico

El sector de los hidrocarburos en España ha estado históricamente enmarcado en el Monopolio de Hidrocarburos al que dio origen el Real Decreto-Ley 1142 de 1927, con un tratamiento de elemento esencial para la industria y la defensa nacional, y de progresiva desregulación a satisfacción de los criterios básicos de adhesión a la Unión Europea en la dirección del mercado común de la energía.

Paralelamente a la regulación de ordenación del sector de hidrocarburos, se introdujeron medidas para la organización de las actividades de investigación y explotación (Ley de 26 de diciembre de 1958 sobre Régimen Jurídico de la Investigación y Explotación de Hidrocarburos), las reservas del estado y las tasas de explotación (Ley 21/1974), dando base específica al ordenamiento de una actividad que anteriormente había estado regulada por la legislación general minera y disposiciones complementarias.

5.2.2 Reformas legislativas

La entrada de España en la Comunidad Económica Europea forzó cambios sustanciales en los mercados de energía dirigidos a la creación de un mercado interior común. Las nuevas medidas incluían estrategias para incrementar la

eficiencia del sector y asegurar la liberalización y competencia en el mercado. Así mismo, los cambios regulatorios han tenido en cuenta aspectos ambientales y derechos de los consumidores en lo relativo a regularidad, calidad y precio de suministro.

La Ley 45/1984, de Reordenación del Sector Petrolero, y el Real Decreto-ley 5/1985, de adaptación del Monopolio de Petr6leos, dieron los primeros pasos hacia el cumplimiento de las exigencias de la CEE, para la consecuci3n de mayores niveles de eficiencia y competitividad de las empresas del sector, la libre importaci3n de productos petrol6feros desde los pa6ses pertenecientes a la Comunidad y de liberalizaci3n de los subsectores de distribuci3n y venta.

La Ley 15/1992, sobre medidas urgentes para la progresiva adaptaci3n del sector petrolero al marco comunitario, fue un nuevo paso en la direcci3n del mercado interior de la energ6a al reducir las distancias m6nimas entre estaciones de servicio establecidas por el Real Decreto-Ley 4/1988 y dotar de estructuras comerciales a las empresas de refino mediante la participaci3n de 6stas en la Compa6a Administradora del Monopolio (CAMPSA).

La completa extinci3n del Monopolio de Petr6leos se produjo con la introducci3n de la Ley 34/1992, de ordenaci3n del sector petrolero, trasladando el control de la administraci3n de un modelo concesional a un sistema de autorizaci3n de actividades. En manos de la Administraci3n quedar6an las competencias en materia de mantenimiento de existencias m6nimas, derechos del consumidor y el usuario, la seguridad de las instalaciones, la capacidad de establecimiento de precios m6ximos de productos petrol6feros por cuestiones de inter6s general o la asignaci3n de cuotas a la importaci3n desde pa6ses no miembros de la UE.

La Ley 34/1998, del sector de hidrocarburos, por la que se creó la Comisión Nacional de la Energía⁹ con el fin de asegurar la competitividad del mercado, separó la propiedad de la infraestructura de transporte de gas (monopolista) del prestador del servicio, al igual que ya se hiciera anteriormente en el sector eléctrico, a requerimiento de directivas comunitarias. Se reconoció la libre competencia y la libre iniciativa empresarial de las actividades empresariales de distribución de hidrocarburos, que únicamente se restringen a la comprobación de la capacidad legal, técnica y económico-financiera para desarrollar las actividades sujetas a autorización. La nueva ley reconoce desencadenó un cambio de gran calado en el sector, entre los que destacan la libre determinación del precio, la supresión de las reservas en favor del estado y la planificación de las redes considerando aspectos medioambientales.

La Ley 12/2007, por la que se modifica la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, con el fin de adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural, supuso la última modificación legislativa del período de estudio. El Estado tendría la potestad de imponer obligaciones a los operadores del sistema para *“proteger el interés económico general, las medidas de protección del consumidor que pueden referirse a la regularidad, a la calidad y al precio de los suministros, la supervisión de la seguridad de suministro, la obligatoriedad del establecimiento de Normas técnicas*

⁹ La Comisión Nacional de la Energía se creó como órgano consultivo de la administración para la participación en la autorización de instalaciones, en la reglamentación y en la planificación del sector energético. Así mismo, actúa como órgano arbitral y debe velar por la libre competencia del mercado.

[...]”. Se incluyen medidas para completar la liberalización del sector, considerando la mejora de la calidad y los precios del servicio, eliminando el sistema de tarifas existente y garantizando el derecho al cambio de suministrador bajo principios de transparencia, objetividad e independencia.

5.3 Revisión literaria

Numerosos estudios económicos han evaluado y demostrado el elevado peso del sector energético en la economía y en su crecimiento, y de ellos han surgido medidas para mejorar la regulación de los sectores energéticos en general, y del petrolífero en particular. Kilian (2008) demostró que los shocks exógenos en la oferta del petróleo inducen fuertes descensos en el PIB estadounidense a corto plazo y ligeros incrementos del precio en el largo plazo, y Yuan et al. (2008) encontraron evidencia de causalidad entre consumo de petróleo y crecimiento económico en términos de PIB en el corto plazo en China. Más recientemente, Bloch, Rafiq y Salim (2015) observaron que el crecimiento del PIB en China estaba condicionado por el consumo de energía. Mirzaei y Al-Khouri (2016), en su estudio sobre la crisis financiera global, observaron una mayor resiliencia por parte de los países ricos en petróleo.

Por otra parte, el precio de los hidrocarburos y los efectos de su variación han sido ampliamente estudiados por su importancia en la economía global. Hamilton (2009) mostró que los shocks del precio del petróleo, pese a tener diferentes orígenes, tienen efectos similares en la economía, conduciendo a reducciones generales del consumo y, en gran medida, de la compra de automóviles. González y Hernández (2016) encontraron recientemente evidencia sobre el papel del consumo como vía indirecta de transmisión de los precios del petróleo a la balanza comercial y al PIB en la economía colombiana (país exportador neto), y observan

que incrementos en los precios del petróleo afectan al PIB mientras que variaciones negativas no muestran correlación. Otros efectos se han analizado en relación a la afección a los mercados bursátiles. Park y Ratti (2008) encontraron evidencia del impacto de shocks en el precio del petróleo en la bolsa, incluso mayores que sobre los tipos de interés en Estados Unidos y en países europeos. Narayan y Sharma (2014) encontraron relación directa entre los precios del petróleo y la volatilidad de la rentabilidad de las acciones en bolsa en un estudio de 560 empresas cotizadas y derivaron estrategias de negociación basadas en la predicción de los precios del petróleo. Por su parte, Guesmi, Boubaker y Lai (2016), que observaron alteraciones en la bolsa americana debido a variaciones en los precios del crudo, recomiendan la toma de medidas regulatorias apropiadas para paliar los efectos adversos de los precios en las economías.

Otros estudios han investigado el impacto del precio del petróleo en la productividad total de los factores y en la eficiencia técnica de los sectores industriales y de servicios. Song y Park (2011) estudiaron los efectos de las variaciones del precio del petróleo en la productividad de la industria coreana, observando que las fluctuaciones en los precios producen efectos de escala crecientes y progreso tecnológico mientras la eficiencia técnica (y también la asignativa) decrece cuando los precios son elevados. Coto-Millán et al. (2015) encontraron, así mismo, evidencia sobre la influencia negativa de los precios del petróleo sobre la eficiencia técnica de las aerolíneas europeas.

Desde un enfoque económico, las actividades portuarias han venido estudiándose desde las perspectivas de la demanda, la productividad o la eficiencia. Coto-Millán, Baños-Pino y Villaverde-Castro (2005) encontraron evidencia empírica de la influencia de variables macroeconómicas nacionales, el precio de las

importaciones y de los servicios marítimos sobre la demanda de importación. En relación a la demanda de exportación, encontraron resultados similares, revelando la influencia del PIB mundial, el precio de las exportaciones y los servicios marítimos. Encontraron, así mismo, elasticidad renta de las importaciones superior a la unidad e inferior para el caso de las exportaciones. En un estudio similar, aplicado a los puertos españoles, Coto-Millán et al. (2011) encontraron una baja elasticidad renta de la demanda de importación de graneles líquidos, y superior para el resto de las importaciones.

Díaz-Hernández, Martínez-Budría y Jara-Díaz (2007) estudiaron de los cambios en la productividad de las compañías portuarias españolas en el período 1994-1998. De su análisis se desprende que los esfuerzos regulatorios de los años 80's derivaron en cambio técnico. A diferencia de lo encontrado por González y Trujillo (2008) (pérdida neta de productividad en los puertos españoles con tráfico de contenedores en el período 1990-2002), el análisis de Núñez-Sánchez y Coto-Millán (2012) sobre la evolución de la productividad total de los factores de las Autoridades Portuarias españolas en el período 1986-2005 arrojó mejoras en la productividad total de los factores debidas a progreso tecnológico y a incrementos de la eficiencia de escala. En relación al crecimiento de la productividad total de los factores, Chang y Tovar (2014b), en un análisis para puertos de Perú y Chile, observaron que la productividad total de los factores en Chile, en media, se redujo, mientras se incrementó en los puertos peruanos. Entre sus conclusiones destacan la necesidad de aplicar políticas en Perú orientadas a agilizar las reformas e incentivar la inversión de empresas privadas, al objeto de conseguir reducciones de costes e incrementar la competitividad de las terminales.

Desde el punto de vista de la eficiencia técnica, Chang y Tovar (2014a) estudiaron 14 puertos chilenos y peruanos en el período 2004-2010. Encontraron que la reforma estructural de los años 90 influyó positivamente en ambos, aunque de forma más significativa en los puertos chilenos, más eficientes que los peruanos por la mejor implementación de las regulaciones, con mayor inversión en infraestructuras y tecnología (Chang y Tovar, 2014b). Así mismo, observaron que la crisis financiera afectó negativamente a la eficiencia en 2009 y que la tasa de ocupación, el grado de mecanización y la privatización influían positivamente en la eficiencia. Por otra parte, Chang y Tovar (2014b) descompusieron la productividad en eficiencia técnica, eficiencia de escala y cambio tecnológico y observaron que los incrementos de eficiencia técnica y eficiencia de escala contribuyeron de manera positiva a las mejoras de productividad, aunque el componente de cambio tecnológico, sesgado al capital, disminuyó.

González y Trujillo (2008) mostraron que las reformas regulatorias habían inducido cambios tecnológicos de las Autoridades Portuarias estudiadas en el período 1990-2002, si bien los incrementos en términos de eficiencia técnica no fueron sustanciales. Más recientemente, Coto-Millán et al. (2016) estudiaron el impacto de las reformas de gestión portuaria de 1992, 1997, 2003 y 2010 (relativas a descentralización, privatización e introducción de competencia) en la eficiencia técnica de 26 Autoridades Portuarias españolas para el período 1986 a 2012. De su análisis empírico se concluye el efecto positivo y significativo de las regulaciones de 1997 y 2003, siendo la regulación con mayor contribución a la eficiencia la relativa a descentralización y autonomía portuaria (1997).

Sin embargo, se han encontrado estudios buscando el impacto de la desregulación y la introducción de la competencia en el sector de hidrocarburos en la eficiencia

técnica de los principales puertos españoles de importación de hidrocarburos, lo que constituye la principal aportación de este capítulo a la literatura.

5.4 Metodología

A fin de dar respuesta al objetivo principal de esta investigación y conocer los niveles de eficiencia técnica de las Autoridades Portuarias consideradas en su actividad productiva y determinar la influencia de la desregulación e introducción a la competencia del sector de hidrocarburos en tales niveles de eficiencia, se propone el empleo de la metodología de efectos fijos verdaderos de Greene (2005). El modelo, de frontera estocástica, permite el cálculo de ineficiencia variable en el tiempo y la consideración de heterogeneidad no observada en los individuos de la muestra.

La existencia de diversos outputs en la muestra, por los distintos servicios que ofrece el puerto (o los diferentes tráficos que mueven los puertos: graneles sólidos, graneles líquidos y mercancía general, principalmente), muestra la idoneidad de considerar el empleo de una función distancia¹⁰. Introducida por Shephard (1953), la función distancia permite identificar tecnologías de producción con varios outputs (productos o servicios finales, y_m) e inputs (factores productivos, x_n)

¹⁰ En la literatura portuaria existente, son muchos los estudios en que se ha empleado la función distancia. Para más información, véanse Baños-Pino, Coto-Millán y Rodríguez-Álvarez (1999), Rodríguez-Álvarez, Tovar y Trujillo (2007), González y Trujillo (2008), Núñez-Sánchez y Coto-Millán (2012), Chang y Tovar (2014a y 2014b), Medal-Bartual, Molinos-Senante y Sala-Garrido (2016) y Coto-Millán et al. (2016), entre otros.

prescindiendo del empleo de precios o coste de los factores¹¹ (Coelli et al., 2005).

La forma general de la función distancia se muestra en la expresión (5.1):

$$d_{it} = f(x_{1it}, \dots, x_{jit}, \dots, x_{Mit}, y_{1it}, \dots, y_{Mit}) \quad (5.1)$$

Donde d_{it} es la distancia del punto de producción real a la frontera obtenida correspondiente a la i -ésima DMU en el año t -ésimo.

El proceso de cálculo con funciones distancia precisa la elección inicial de orientación output o input, decidida en base a la mayor capacidad de control de uno u otro (Coelli et al., 2005). La estructura organizativa, de costes y precios de las actividades portuarias indican la mejor adecuación de una función distancia con orientación input debido al mayor control sobre los factores productivos por parte de las Autoridades Portuarias, frente a una menor capacidad de control de los niveles finales de producción (por su dependencia de la demanda efectiva de transporte).

La definición formal de la función distancia con orientación input se presenta en la expresión (5.2):

$$d^I(x, y) = \max_{\lambda} \{\lambda : x/\lambda \in L(y)\} \quad (5.2)$$

¹¹ Como apuntan Núñez-Sánchez y Coto-Millán (2012) en su análisis de impacto de las reformas públicas sobre la productividad de los puertos españoles, es conveniente evitar el empleo de funciones de costes en ámbitos de fuerte regulación y propiedad pública, por no ser un objetivo esencial la minimización de costes.

Donde $L(y)$ representa la isocuanta de producción. La función distancia input-orientada puede tomar valores mayores o iguales a la unidad ($d^I(x, y) \geq 1$), siendo igual a uno cuando la producción se sitúa en la isocuanta de producción (la producción de servicios se realiza de forma completamente eficiente) y superior a la unidad cuando la producción se realiza con algún grado de ineficiencia.

La función distancia con orientación input debe cumplir las propiedades de simetría, no creciente y cuasi-convexa en outputs. Así mismo debe ser no decreciente, cóncava y homogénea de grado uno en inputs (Färe y Primont 2012).

El desarrollo del modelo precisa la elección de una forma funcional adecuada. Dos formas funcionales ampliamente empleadas en la literatura de eficiencia técnica son la Cobb-Douglas (1928)¹² y la translog (Christensen, Jorgenson y Lau, 1973)¹³. En este estudio se ha elegido una función tipo Cobb-Douglas frente a la más elástica translog, por reducir esta última los grados de libertad en la estimación en gran medida. La función distancia se presenta en (5.3):

$$\ln d_{it}^I = \sum_{n=1}^N \beta_n \ln x_{nit} + \sum_{m=1}^M \gamma_m \ln y_{mit} + \theta_1 t + \theta_2 t^2 + \alpha_i + v_{it} \quad (5.3)$$

Donde α_i representa la heterogeneidad inobservable (no capturada por las variables del modelo), características particulares de cada una de las Autoridades

¹² La función Cobb-Douglas aplicada a funciones distancia se ha empleado en Greene (2005), Kumbhakar (2012), Kumbhakar, Asche y Tveteras (2013), Huang, Bruemmer y Huntsinger (2016), entre otros.

¹³ La función translog, aplicada a funciones distancia se ha empleado en González y Trujillo (2008), Díaz-Hernández, Martínez-Budría y Salazar-González (2014), Mellah y Ben Amor (2016) y Coto-Millán et al. (2016), entre otros.

Portuarias incluidas en el estudio, v es una perturbación aleatoria (ruido estadístico asociado a efectos estocásticos, no controlables por las unidades productivas) supuesta independiente e idénticamente distribuida según normal de media cero y varianza constante $N(0, \sigma_v^2)$, d^l es la distancia orientada al input, x es un vector N -dimensional de factores productivos, y es un vector M -dimensional de bienes/servicios producidos y t es una variable de tendencia temporal que recoge el cambio tecnológico en el sentido de Hicks. Finalmente, β , γ y θ son vectores de parámetros objeto de estimación.

La imposición de homogeneidad de grado uno viene dada por la expresión (5.4):

$$\sum_{n=1}^N \beta_n = 1 \quad (5.4)$$

La transformación del modelo (5.3) considerando (5.4), que permite el análisis econométrico mediante técnicas de frontera estocástica, se muestra en (5.5). Consiste en la normalización de la función distancia por uno de sus factores productivos:

$$-\ln x_{Nit} = \sum_{n=1}^{N-1} \beta_n \ln x_{nit}^* + \sum_{m=1}^M \gamma_m \ln y_{mit} + \theta_1 t + \theta_2 t^2 + \alpha_i + v_{it} - u_{it} \quad (5.5)$$

Donde $x_{nit}^* = x_{nit}/x_{Nit}$ representa la cantidad empleada del factor productivo n normalizado, y la ineficiencia técnica viene representada por $u_{it} = \ln d_{it}^l$, con distribución normal truncada de media μ_{it} y varianza σ_u^2 . El modelo econométrico empleado (Greene, 2005) supone independencia en la distribución de u_{it} y v_{it} .

La expresión (5.6) completa el modelo de Greene (2005) aplicado al estudio, que recoge la forma general de la función de determinantes de ineficiencia:

$$u_{it} = \pi_0 + \sum_{q=1}^q \pi_q Var_{qit} + w_{it} \quad (5.6)$$

Donde π es un vector de parámetros objeto de estimación, Var son las variables consideradas determinantes de la eficiencia, y w_{it} es un error aleatorio distribuido según $N(0, \sigma_w^2)$.

Las expresiones (5.5) y (5.6), funciones distancia y de determinantes de ineficiencia, respectivamente, pueden estimarse por el método de máxima verosimilitud en un proceso de una etapa. En una segunda etapa de cálculo se estiman los niveles de eficiencia técnica de cada Autoridad Portuaria i en cada año de observación t . La formulación empleada en este análisis es la de Jondrow et al. (1982), definida en la expresión (5.7):

$$TE_{it} = E[\exp(-u_{it})|\varepsilon_{it}] \quad (5.7)$$

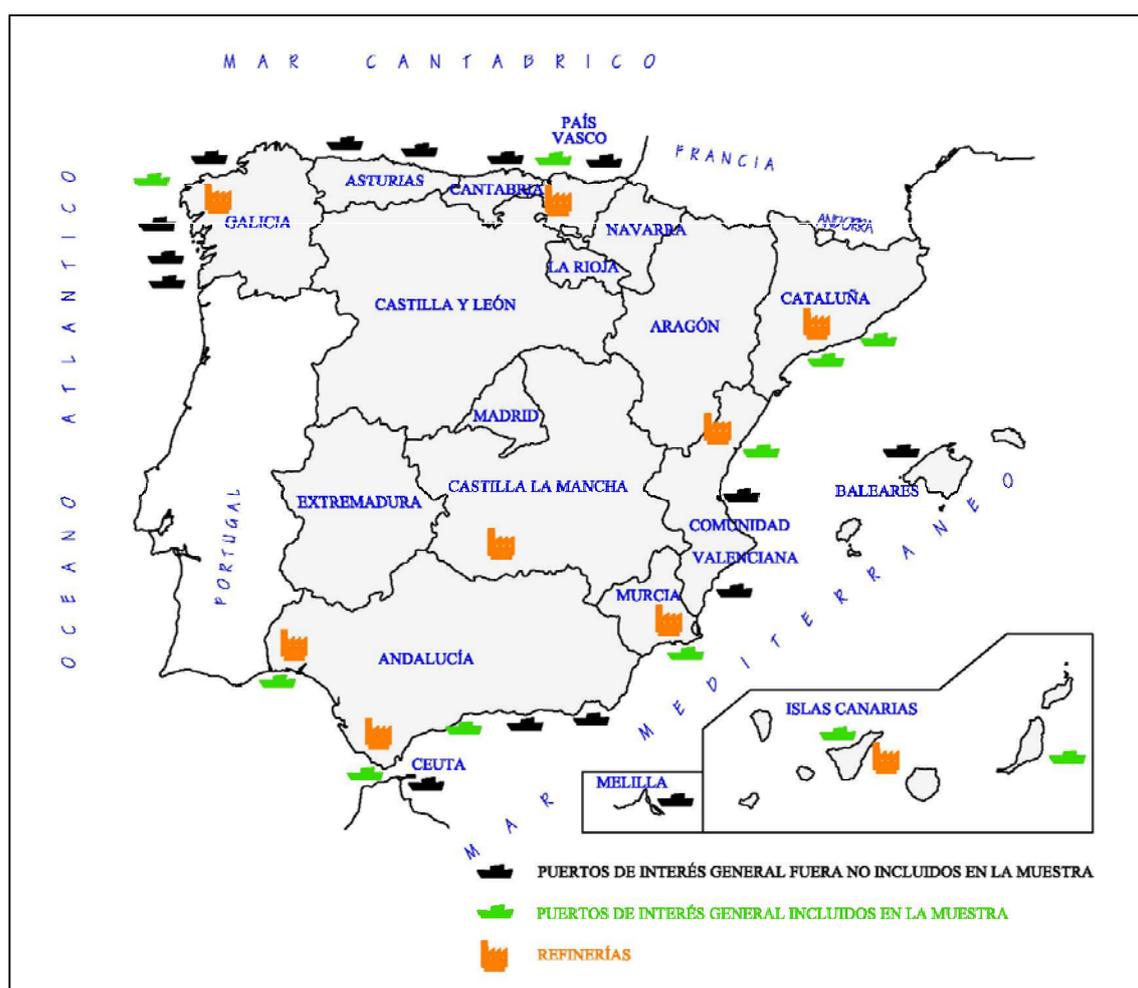
Donde $\varepsilon_{it} = v_{it} - u_{it}$.

5.5 Datos

Para la realización de este análisis empírico se ha empleado información económica y de tráfico portuario obtenida de las Memorias de las Autoridades Portuarias y Anuarios Estadísticos de Puertos del Estado (Puertos del Estado, 2016). Si bien gran cantidad de puertos en España tiene algún tipo de tráfico de productos petrolíferos, la muestra empleada en este estudio se limita a las principales

Autoridades Portuarias de importación de hidrocarburos, consideradas como tal aquellas que proveen materia prima a las instalaciones de refino de petróleo o aquellas con tráfico anual superior a 1,5 millones de toneladas de productos petrolíferos.

Figura 5.1 Mapa de refinерías en España



Fuente: Elaboración propia a partir de Puertos del Estado (2016) y AOP (2016).

La muestra finalmente empleada está formada por un panel de datos balanceado con información, para el período comprendido entre 1986 y 2013, de 11 puertos¹⁴

¹⁴ A Coruña, Bahía de Algeciras, Barcelona, Bilbao, Cartagena, Castellón, Huelva, Las Palmas, Málaga, Santa Cruz de Tenerife y Tarragona

españoles de interés general de importación de hidrocarburos. La mayor parte de los puertos comprendidos en la muestra abastecen de materia prima a las instalaciones de refino de petróleo distribuidas en el territorio español que, como puede observarse en la figura 5.1, se sitúan próximas a las terminales portuarias¹⁵.

En su operativa normal, los puertos emplean factores productivos de diversa naturaleza para la prestación de los servicios que se pueden clasificar en trabajo, capital y consumos intermedios. En este análisis empírico, el trabajo será medido por el número de trabajadores empleados anualmente. El capital físico empleado en las actividades productivas lo hemos aproximado por el activo fijo neto afecto a la actividad. Finalmente, los consumos intermedios se han medido por el coste de bienes y servicios utilizados para la producción del servicio en las actividades portuarias distintos de trabajo y capital¹⁶. Todas las variables input seleccionadas se han empleado en estudios anteriores de eficiencia portuaria (Baños-Pino, Coto-Millán y Rodríguez-Álvarez, 1999; Chang y Tovar, 2014a, 2014b; Coto-Millán et al., 2016; González y Trujillo, 2008; Núñez-Sánchez y Coto-Millán, 2012; Rodríguez-Álvarez, Tovar y Trujillo, 2007).

¹⁵ Exceptuando la instalación de Puertollano, que recibe la materia prima del puerto de Cartagena, el resto de refinerías se sitúan próximas a las instalaciones portuarias.

¹⁶ Las observaciones de mercancía contenerizada con valor cero han sido sustituidas por la unidad para evitar la necesidad de eliminarlas al tomar logaritmos e introducirlos en los cálculos. Se espera que esta modificación introducida en la base de datos no influya de forma sustancial en los resultados de cálculo.

Cuadro 5.1. Estadísticos descriptivos

		Media	Mínimo	Máximo	Desv. Típ.
Trabajo (1)	L	261	72	743	120
Capital (2)	K	365.000	56.700	1.530.000	265.000
Consumos intermedios* (2)	CI	6.778	589	36.400	5.586
Graneles sólidos (3)	GS	3.249	229	13.600	2.457
Graneles líquidos (3)	GL	10.700	34	24.200	5.836
Mercancía contenerizada (4)	MGC	300.526	1	2.813.495	497.932
Mercancía no contenerizada (3)	MGNC	1.799	77	9.778	1.870

Notas: Variables expresadas en (1) número de trabajadores, (2) miles de Euros, (3) miles de Toneladas y (4) TEU's. Las variables económicas han sido deflactadas a unidades Euros constantes de 2001. * Variable de normalización.

Fuente: Elaboración propia a partir de Puertos del Estado (2016).

Los servicios producidos por los principales puertos de importación de hidrocarburos se han agrupado en cuatro categorías, conforme a las características de la producción de los propios servicios (sistemas de producción diferenciados): graneles sólidos, graneles líquidos, mercancía general contenerizada y mercancía general no contenerizada (Chang y Tovar, 2014a, 2014b; Coto-Millán et al., 2016; González y Trujillo, 2008; Núñez-Sánchez y Coto-Millán, 2012; Rodríguez-Álvarez, Tovar y Trujillo, 2007; Wanke y Barros, 2016).

El cuadro 5.1 muestra los estadísticos principales de las variables empleadas en el proceso de cálculo de la función distancia.

5.6 Resultados y discusión

En este apartado se muestran los resultados de estimación de la función distancia y los efectos de ineficiencia de la muestra comprendida por los 11 puertos para el

período 1986-2013, en base al modelo econométrico presentado en el cuarto apartado y la especificación del apartado quinto.

5.6.1 Especificación empírica

En este apartado se especifican las funciones distancia, expresión (5.8), y de determinantes de ineficiencia, expresión (5.9), estimadas según la metodología de efectos fijos verdaderos de Greene (2005) resumida en el apartado 5.4.1.

$$\begin{aligned}
 -\ln CI_{it} = & \beta_1 \ln \left(\frac{L_{it}}{CI_{it}} \right) + \beta_2 \ln \left(\frac{K_{it}}{CI_{it}} \right) + \gamma_1 \ln GS_{it} + \gamma_2 \ln GL_{it} \\
 & + \gamma_3 \ln MGC_{it} + \gamma_4 \ln MGNC_{it} + \theta_1 t + \theta_2 t^2 + \alpha_i + v_{it} \\
 & - u_{it}
 \end{aligned} \tag{5.8}$$

$$u_{it} = \pi_1 Leyes\ 15_34/1992_t + \pi_2 Ley\ 34/1998_t + \pi_3 Control_t + w_{it} \tag{5.9}$$

Donde la función distancia se ha definido por los factores productivos empleados y los servicios producidos por la Autoridad Portuaria i -ésima en el t -ésimo año de observación. Como factores productivos se han incluido CI , consumos intermedios, empleada como variable de normalización; L , número de trabajadores; y K , activo neto fijo afecto a la explotación. Las categorías de servicios producidos consideradas en el estudio, medidas por las unidades físicas movidas en operaciones de barco, son: GS , graneles sólidos; GL , graneles líquidos; MGC , mercancía general contenerizada; y $MGNC$, mercancía general no contenerizada.

La función de determinantes de ineficiencia está definida por dos variables dicotómicas que recogen el efecto de la regulación en el sector de hidrocarburos: $Leyes\ 15_34/1992$ es una variable que recoge conjuntamente el efecto de las leyes sancionadas en 1992 (relativas a la transición y derogación del Monopolio de

Petróleos) y *Ley 34/1998*. En la especificación de la función de determinantes se ha incluido la variable *Control*, que recoge los efectos de la crisis económica en la eficiencia técnica de los puertos.

5.6.2 Frontera de producción

Los resultados de la frontera de posibilidades de producción alcanzados en el proceso de estimación de máxima verosimilitud realizado siguiendo la metodología de Greene (2005) se presentan en el cuadro 5.2. Estos resultados muestran los signos esperados en las variables input (los mayores niveles de trabajo o capital en relación a los consumos intermedios conducen a mayores distancias a la frontera) y output (los mayores niveles de servicios producidos reducen las distancias a la frontera) incluidas en la función distancia, resultando todas significativas al nivel de significación del 95%.

Los coeficientes asociados a las variables input reflejan el mayor peso del factor trabajo en relación a los consumos intermedios frente al capital en los puertos considerados, coincidiendo con los resultados de Rodríguez-Álvarez, Tovar y Trujillo, 2007) y Coto-Millán et al. (2016). Por su parte, los coeficientes asociados a las variables output muestran el mayor peso de los tráficos de graneles sólidos (igual que en Coto-Millán et al. 2016), seguido de la mercancía general no contenerizada, los graneles líquidos y la mercancía general contenerizada.

Cuadro 5.2. Frontera de posibilidades de producción

Variables		Coef.	(Desv.)	Sign
Trabajo (1)	β_1	0,461	(0,039)	***
Capital (1)	β_2	0,450	(0,036)	***
Graneles líquidos	γ_1	-0,097	(0,025)	***
Graneles sólidos	γ_2	-0,027	(0,010)	***
Mercancía contenierizada (TEUS)	γ_3	-0,022	(0,005)	***
Mercancía no contenierizada	γ_4	-0,054	(0,022)	**
t	θ_1	-0,015	(0,006)	**
t ²	θ_2	0,000	(0,000)	

Notas: Significación de variables: “***” 0,99, “**” 0,95, “*” 0,90. (1) Variables normalizadas por los consumos intermedios empleados en la producción de los servicios.

Fuente: Elaboración propia.

5.6.3 Determinantes de ineficiencia

Los resultados de estimación obtenidos en relación a la influencia de la desregulación e introducción de competencia en materia de hidrocarburos en la eficiencia técnica de las actividades portuarias se muestran en el cuadro 5.3. Indican un efecto opuesto de las regulaciones de 1992 y 1998 (positivo) frente al efecto de la variable de control (negativo). Los dos períodos regulatorios considerados han resultado influir de forma significativa en la eficiencia de las Autoridades Portuarias estudiadas.

Cuadro 5.3. Resultados de estimación de los efectos de ineficiencia

Variab les		Coef.	(Desv.)	Sign
Leyes 15_34/1992	π_1	-0,228	(0,135)	*
Ley 34/1998	π_2	-0,395	(0,226)	*
Control	π_3	0,528	(0,167)	***
σ_w		0,188	(0,029)	***
σ_v		0,072	(0,011)	***

Notas: Significación de variables: “***” 0,99, “**” 0,95, “*” 0,90. (1) Variables normalizadas por los consumos intermedios empleados en la producción de los servicios.

Fuente: Elaboración propia.

Conforme a lo esperado, la variable que recoge el efecto de las leyes contribuye al incremento de la eficiencia técnica (signo negativo) de los principales puertos españoles de importación de productos petrolíferos. Como ya se apuntaba en el apartado segundo de este capítulo, la Ley 15/1992 redujo las distancias mínimas entre estaciones de servicio de suministro a vehículos y dotó de infraestructura comercial a las instalaciones de refino de productos petrolíferos. Por su parte, la Ley 34/1992 completó la desaparición del Monopolio de petróleos. Ambas leyes representan el esfuerzo regulatorio para incrementar la competencia y la eficiencia técnica del sector de hidrocarburos y de los sectores dependientes de éste.

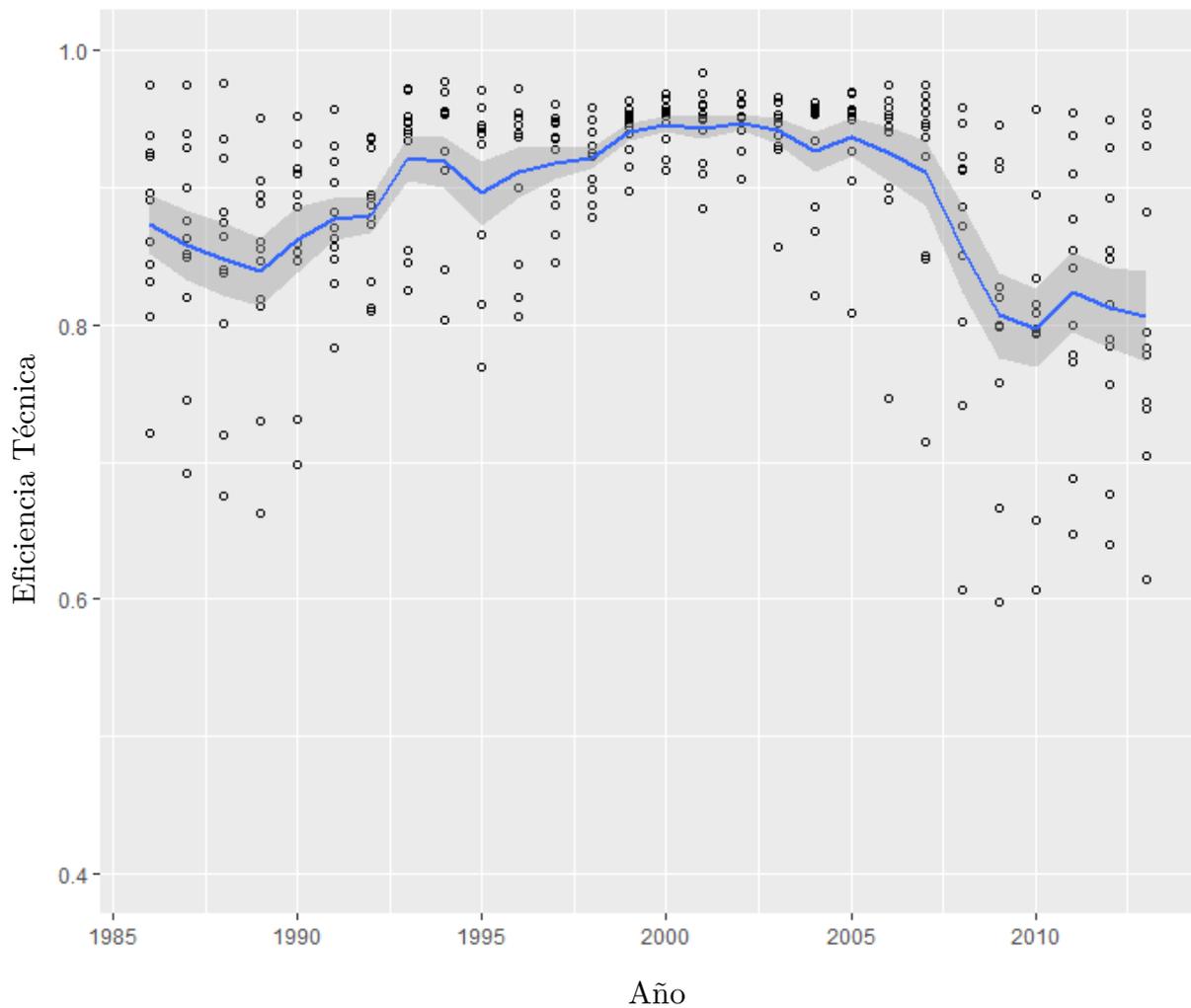
La promulgación de la Ley 34/1998 también contribuyó positivamente a la eficiencia de los puertos españoles considerados en este estudio. Con un impacto mayor que las leyes sancionadas en 1992, esta ley introdujo nuevas medidas de

liberalización del sector petrolero¹⁷ que condujeron a incrementos de los niveles de eficiencia técnica, no solo de los entes directamente participantes en el sector petrolero, sino de todos los sectores económicos nacionales.

Finalmente, el efecto de la crisis económica (variable *Control*) iniciada en 2007 se muestra contrario a la eficiencia técnica de los puertos (signo positivo). Su efecto se ha mostrado mayor (0,528) que el de las regulaciones de liberalización e introducción de competencia del sector de hidrocarburos llevadas a cabo en 1992 (-0,228) y 1998 (-0,395), si bien parece haberse iniciado ya una senda de recuperación.

Al mismo tiempo que iniciara la crisis económica se promulgó la Ley 12/2007, de adaptación de la Ley 34/1998 a la Directiva 2003/55/CE, que contiene modificaciones del mercado gasista dirigidas a definir nuevas obligaciones de las empresas del sector, y a la introducción de competencia y liberalización del sector que conduzcan, y a la mejora de los niveles de eficiencia en el resto de sectores productivos. Sin embargo, no ha sido posible recoger el impacto de esta desregulación e introducción de competencia en el sector energético nacional y comunitaria, por haber convivido en el tiempo con la preocupación por la conservación del medio ambiente, con el apoyo a las tecnologías renovables, y con los efectos nocivos de la crisis económica.

¹⁷ La separación del propietario de la infraestructura de transporte gasista del prestador del servicio, el reconocimiento de la libre iniciativa empresarial o la libre determinación del precio destacan entre las medidas liberalizadoras de la Ley 34/1998.

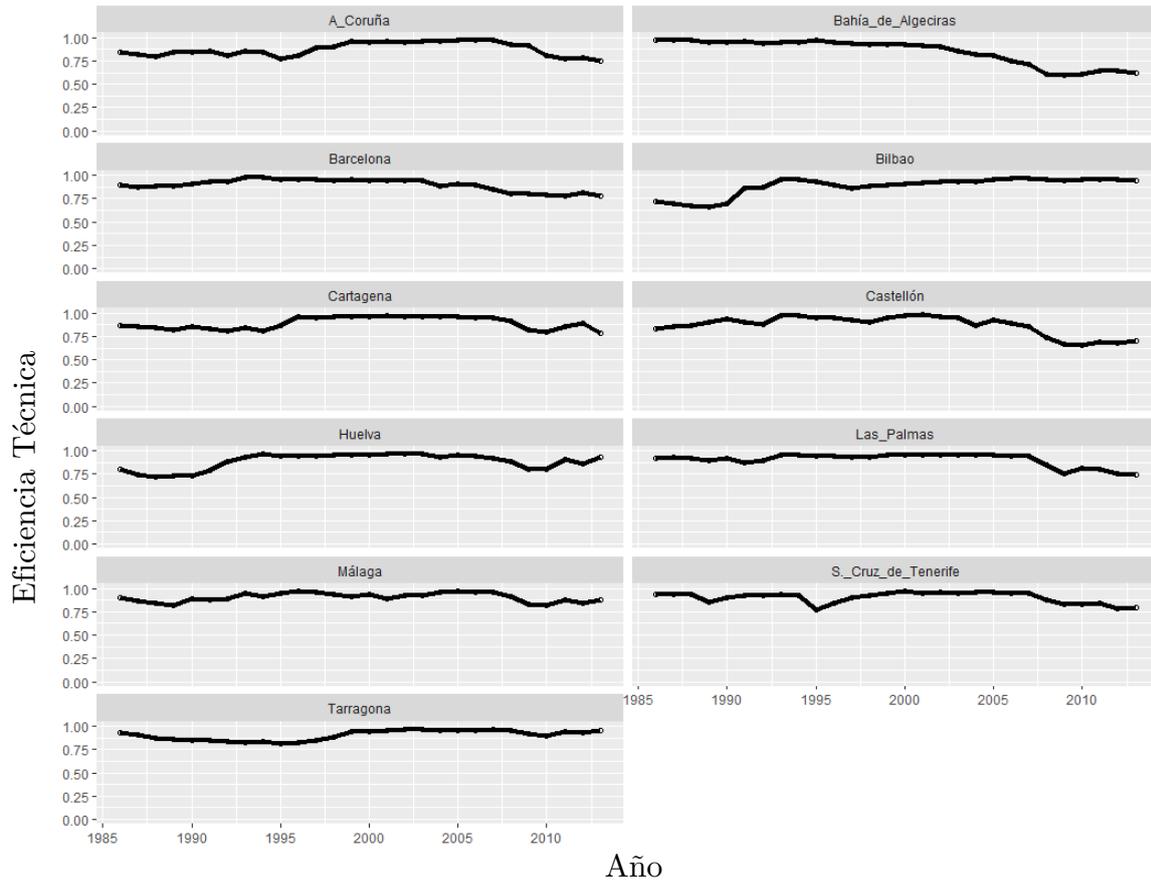
Figura 5.2 Evolución de la eficiencia técnica (1986-2013)

Fuente: Elaboración propia.

La figura 5.2 muestra la evolución de la eficiencia técnica de los puertos considerados en la muestra en el período entre 1986-2013. Estos resultados muestran que el valor promedio de eficiencia de los principales puertos españoles de importación de hidrocarburos es 0,85. Se observa, así mismo, una tendencia creciente entre los años 1995 y 2002. En 2002 los niveles de eficiencia comenzaron a reducirse, contracción que se pronunció con la crisis económica hasta alcanzar el mínimo en 2010 (79,8%).

La evolución de la eficiencia de los puertos considerados es similar a la estimada anteriormente por Rodríguez-Álvarez y Tovar (2012), Núñez-Sánchez y Coto-Millán (2012) y Díaz-Hernández, Martínez-Budría y Salazar-González (2014). Rodríguez-Álvarez y Tovar (2012) investigaron sobre la eficiencia de la infraestructura portuaria en España en el período 1993-2007, y encontraron evidencia de un comportamiento ineficiente, con reducción de la eficiencia desde 2003. Los autores argumentaron que los puertos españoles estaban sujetos a regulación tal que no les permitía el control de las políticas de precios. En consecuencia, la estrategia competitiva de los puertos descansaba en la gestión de las variables bajo su control, entre las cuales destaca la política de inversiones. La política de inversión en capacidad ejercida por los puertos ha sido, por tanto, la estrategia más importante en la competencia interportuaria dado que las tasas portuarias son uniformes para el conjunto del sistema. Núñez-Sánchez y Coto-Millán (2012) señalaron que este tipo de competencia interportuaria ha conducido a sobrecapacidad y pérdidas de eficiencia. En este mismo sentido, Díaz-Hernández, Martínez-Budría y Salazar-González (2014) encontraron evidencia de ineficiencia derivada principalmente del uso de inputs cuasi-fijos, que incrementa los costes un 8% por término medio. Por tanto, el crecimiento significativo de la capacidad portuaria a lo largo del período de estudio podría haber causado sobrecapacidad al sistema y, en consecuencia, el incremento de la ineficiencia.

Figura 5.3. Evolución de la eficiencia técnica por Autoridad Portuaria
(1986-2013)



Fuente: Elaboración propia.

En 2013, finalizado el período de estudio, ninguno de los puertos españoles analizados había recuperado los niveles de eficiencia técnica pre-crisis, y sólo Tarragona, Bilbao y Huelva se aproximaban (véase figura 5.3). La explicación detrás de estas diferencias en los resultados podría encontrarse en la evolución de las variables relacionadas con la función de producción. Siguiendo los resultados de Hidalgo-Gallego, Núñez-Sánchez y Coto-Millán (2015), en algunos puertos el capital en relación al trabajo se encontraba infrautilizado al tiempo que se producía sobreinversión debido al proceso de descentralización y competencia inter-portuaria.

5.7 Conclusiones

Durante décadas, la regulación española en materia de hidrocarburos ha estado orientada a fomentar la eficiencia del sector, al considerarlo estratégico y de gran influencia en la producción y el consumo de la economía general. En este sentido, este capítulo pretende contribuir a la literatura existente estableciendo una correlación directa entre las reformas en materia de hidrocarburos y el cambio en la eficiencia de los principales puertos de importación de hidrocarburos.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la influencia de la desregulación e introducción a la competencia en el sector de hidrocarburos en la eficiencia técnica de los once principales puertos españoles de importación de hidrocarburos en el período 1986-2013. A tal fin, se ha empleado la metodología estocástica de efectos fijos verdaderos propuesta por Greene (2005), que tiene en cuenta la heterogeneidad existente entre las unidades de análisis. La frontera empleada en el estudio es una función distancia, que se considera la más adecuada en esquemas productivos con varios inputs y outputs. En el análisis de resultados se han alcanzado cuatro conclusiones principales.

La primera conclusión, en línea con los resultados de Coto-Millán et al. (2016) y Díaz-Hernández, Martínez-Budría y Salazar-González (2014), es la infrautilización del capital en relación al trabajo en el sector portuario. En relación a los outputs, los graneles sólidos tienen el mayor peso en el proceso productivo de los principales puertos españoles de importación de hidrocarburos, seguidos de la mercancía general no contenerizada, los graneles líquidos y la mercancía general contenerizada.

La segunda conclusión es que la eficiencia técnica de las Autoridades Portuarias analizadas alcanzó un valor promedio de 0,85 en el período 1986-2013. Se observa una tendencia creciente desde 1995 hasta que en 2002 los niveles de eficiencia comenzaron a reducirse. Esta contracción de los niveles de eficiencia iniciada en 2002 se vio (al igual que en otros sectores productivos) intensificada en 2007 tras el comienzo de la crisis económica, alcanzando el mínimo de 79,8% en 2010. Esta reducción coincidió en el tiempo con un período de creciente preocupación por la conservación del medio, que también dio origen al apoyo a las tecnologías de energía renovable.

La tercera conclusión revela que la evolución de la eficiencia técnica de las Autoridades Portuarias consideradas en la muestra ha seguido tendencias similares a lo largo del periodo de estudio. Con algunas diferencias, la tendencia ha sido de crecimiento de los niveles de eficiencia técnica hasta 2002 y decrecimiento después, para producirse una intensa reducción desde 2007. Finalizado el período de estudio, las Autoridades Portuarias analizadas aún no han recuperado los niveles pre-crisis.

Finalmente, la desregulación del sector de hidrocarburos iniciada en España como parte de la Unión Monetaria Europea, en 1992 y 1998, para promover la liberalización e introducción de competencia en el sector, muestran influencia positiva en la eficiencia técnica de los principales puertos españoles de importación de hidrocarburos. Por el contrario, la crisis económica iniciada en 2007 tuvo un fuerte impacto negativo sobre su eficiencia técnica, superior al de los esfuerzos desreguladores y de introducción de la competencia realizados.

CAPÍTULO 6

RESUMEN Y CONCLUSIONES

6. Resumen y conclusiones

Esta tesis se ha desarrollado con el fin profundizar en el conocimiento del sector energético y conocer vías que permitan incrementar los niveles de eficiencia del sector, y con ello reducir los impactos negativos en la economía (o incluso favorecer los positivos). Con este objetivo, en el documento se ofrecen cuatro análisis empíricos, dos de ellos centrados en el sector eléctrico europeo, un tercero en el sector eléctrico español y un cuarto en el impacto del sector energético en otros sectores de la economía.

Siguiendo al capítulo introductorio, el segundo capítulo analiza los determinantes de la eficiencia técnica de las compañías europeas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica. En este capítulo, empleando la metodología de frontera estocástica de Battese y Coelli (1995), se ha evaluado el impacto de variables como la antigüedad, el tamaño, la estructura del capital o la diversificación de la actividad en la eficiencia técnica de las empresas del sector eléctrico europeo.

Los resultados muestran que las empresas de mayor tamaño son, por término medio, más eficientes, y que el endeudamiento (externo) les afecta de manera negativa. Por otra parte, la antigüedad y la diversificación de la actividad afectan de manera diferente dependiendo del subsector de actividad de que se trate. Las empresas de los subsectores de generación y transporte de electricidad muestran efectos de inercia, mientras las de distribución muestran efectos de aprendizaje. En cuanto a la diversificación de actividades, a la luz de los resultados alcanzados en la investigación, parece recomendable que las empresas de transporte y distribución de electricidad amplíen sus líneas de negocio fuera del sector eléctrico.

La conclusión general del capítulo reside en la posibilidad de las empresas de modificar sus resultados en términos de eficiencia, no solo desde un punto tecnológico, sino que también pueden realizar cambios en su conducta o su gestión para conseguirlo. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que los resultados alcanzados en la investigación son promedios generales del sector, y que las medidas no afectarán por igual a todas las empresas. Por esto, las variaciones en los aspectos analizados de gestión de estas empresas deberían realizarse tras un estudio pormenorizado de su situación inicial y evolución.

El tercer capítulo se ha dedicado a analizar el efecto de la producción de electricidad a partir de fuentes nucleares de energía en la eficiencia de las empresas europeas de generación de electricidad, empleando para ello la metodología de frontera estocástica de Battese y Coelli (1995). Los resultados del análisis empírico muestran que las empresas situadas en países sin producción de electricidad por medios nucleares son, en media, más eficientes que las situadas en países que incluyen los medios de producción nucleares en su mix energético. Este resultado, contrario a lo esperado por la tecnología y a la eficiencia propia de esa forma de generación se justifica por las limitaciones de producción máxima permitidas por cada gobierno. En cambio, las empresas ubicadas en países donde se genera electricidad a partir de fuentes nucleares con menores restricciones regulatorias, como es el caso de Francia, tienen niveles de eficiencia técnica elevados.

El efecto negativo sobre la eficiencia arrojado por los resultados del tercer capítulo es lo que se puede denominar la paradoja de la regulación energética, siendo las tecnologías más productivas las que por la regulación verán perjudicada la eficiencia, generando un efecto negativo global de la región en que se ubican.

En el cuarto capítulo se ha analizado el efecto de la regulación en materia ambiental en la eficiencia técnica de empresas de producción eléctrica en España. En concreto se analiza el efecto de la regulación del mercado de emisiones (Directiva 2003/87/CE; Ley 1/2005) implementadas al objeto de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Con este fin se ha empleado una metodología no paramétrica DEA (Färe et al., 2016) para obtener los niveles de eficiencia técnica en primera etapa, y un modelo de Tobit (Rosett y Nelson, 1975; Tobin, 1958) como segunda etapa para determinar el efecto de la regulación en tales niveles de eficiencia.

La metodología de cálculo empleada para determinar los niveles de eficiencia permite tomar en consideración tanto la producción deseada (electricidad producida medida por los ingresos de las empresas) como la producción no deseada (emisiones de CO₂). Por esto, los índices calculados, más allá de estimar eficiencia técnica en el sentido tradicional, se entienden como un indicador del comportamiento ambiental de las empresas al que denominamos *excelencia ambiental*.

Los resultados del análisis empírico muestran un impacto positivo de la regulación en la *excelencia ambiental* de las empresas dedicadas a la generación de electricidad en España, pese al incremento de costes que esta les ha supuesto. Sin embargo, el análisis revela que la regulación precisa un mayor desarrollo para reducir las emisiones a la atmósfera, de modo que los precios de los derechos de emisión se mantengan a un nivel tal que reduzca efectivamente las cantidades de CO₂ emitidas (entre 35 y 50 dólares por tonelada, según Bergerson y Lave (2007), Echeverri (2006), Newcomer et al. (2008) y Sekar et al. (2007)).

El quinto capítulo de esta tesis se ha dedicado al estudio del impacto de la regulación energética en otros sectores de la economía. En este sentido, el capítulo analiza la influencia de las reformas de desregulación e introducción de la competencia en materia de hidrocarburos en la eficiencia de los principales puertos de importación de hidrocarburos en España. Con este objetivo se ha realizado un análisis de eficiencia técnica empleando la metodología estocástica de efectos fijos verdaderos de Greene (2005), que tiene en cuenta la heterogeneidad existente entre las Autoridades Portuarias estudiadas.

Los resultados del análisis empírico muestran que la desregulación del sector de hidrocarburos, dedicada a la liberalización e introducción de competencia en el sector (Ley 15/1992; Ley 34/1992; Ley 34/1998), ha influido de manera positiva en la eficiencia técnica de los principales puertos españoles de importación de hidrocarburos, si bien la crisis económica tuvo un fuerte impacto negativo en los niveles de eficiencia técnica (incluso mayor que el derivado de los esfuerzos desreguladores y de introducción de la competencia señalados).

En resumen, los cuatro análisis empíricos desarrollados en esta tesis permiten concluir que existe aún campo de mejora en la eficiencia de los sectores de la energía, tanto desde el punto de vista privado como desde la óptica del regulador. Este espacio de mejora permitirá, no solo incrementar los resultados de las empresas directamente incluidas en los sectores de la energía, sino que, dado que su impacto también alcanza a otros sectores de actividad y, desde luego, al consumidor final, estos también podrán ver mejorados sus resultados y su satisfacción.

En este paso hacia la eficiencia no se deben dejar de lado los efectos negativos que el crecimiento económico tiene sobre el medio ambiente, del que se ha visto que

una adecuada implementación de las regulaciones puede influir positivamente en la eficiencia técnica (o ambiental) de las empresas. Lo mismo sucede en el sentido opuesto. Las medidas regulatorias de carácter ambiental no deben suponer un efecto tal que afecten a las decisiones de inversión de las empresas, o, al menos, deben tratar de minimizarse sus efectos.

Finalmente, en la línea propuesta en este texto, interesa ampliar la investigación al análisis del efecto de la regulación del mercado de emisiones de gases de efecto invernadero en sectores distintos del energético, en los que el impacto en la eficiencia técnica de las empresas puede afectar en gran medida a las decisiones de inversión. Este mismo tipo de análisis interesaría aplicarlo a regiones o países, observando así el impacto en las economías generales, de manera que se puedan detectar debilidades a corregir.

REFERENCIAS

- Agarwal, R., y Gort, M. (2002): “Firm and Product Life Cycles and Firm Survival.” *American Economic Review*, 92(2), 184–190.
<https://doi.org/10.1257/000282802320189221>
- Aigner, D., Lovell, C. A. K., y Schmidt, P. (1977): “Formulation and estimation of stochastic frontier production function models.” *Journal of Econometrics*, 6(1), 21–37. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(77\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(77)90052-5)
- Amadeus (2015): Base de datos. Último acceso 28 de Julio, 2015, disponible en <https://amadeus.bvdinfo.com/version-201617/Login.serv?product=amadeusneo&SetLanguage=es>
- AOP (2016): AOP | Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos. Último acceso 28 de Marzo, 2016, disponible en <http://www.aop.es/>
- Arcelus, F. J., y Arocena, P. (2005): “Productivity differences across OECD countries in the presence of environmental constraints.” *Journal of the Operational Research Society*, 56(12), 1352–1362.
<https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601942>
- Averch, H., y Johnson, L. (1962): “Behavior of the firm under regulatory constraint.” *The American Economic Review*, 52(5), 1052–1069.
- Bagdadioglu, N., Waddams Price, C. M., y Weyman-Jones, T. G. (1996): “Efficiency and ownership in electricity distribution: A non-parametric model of the Turkish experience.” *Energy Economics*, 18(1–2), 1–23.

Referencias

[https://doi.org/10.1016/0140-9883\(95\)00042-9](https://doi.org/10.1016/0140-9883(95)00042-9)

Bai, X., y Song, Y. (2008): “Technical Efficiency and Its Upgrade Orientation of Thermal Power Industry in Provinces of China. Based on the Analysis of Three-stage DEA Model.” *Journal of Finance and Economics*, 10, 001.

Banco Mundial (2015): Datos | Banco Mundial. Último acceso 14 de Agosto, 2015, disponible en <https://datos.bancomundial.org/>

Banco Mundial (2017): Datos | Banco Mundial. Último acceso 2 de Agosto, 2017, disponible en <https://datos.bancomundial.org/>

Baños-Pino, J., Coto-Millán, P., y Rodríguez-Álvarez, A. (1999): “Allocative efficiency and over-capitalization: An application.” *International Journal of Transport Economics*, 26(2), 181–199.

Battese, G. E., y Coelli, T. J. (1988): “Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data.” *Journal of Econometrics*, 38(3), 387–399.

[https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90053-X](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90053-X)

Battese, G. E., y Coelli, T. J. (1992): “Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India.” *Journal of Productivity Analysis*, 3(1–2), 153–169.

<https://doi.org/10.1007/BF00158774>

Battese, G. E., y Coelli, T. J. (1993): “A stochastic frontier production function incorporating a model for technical inefficiency effects.” In *Econometrics and Applied Statistics* (Vol. 69).

- Battese, G. E., y Coelli, T. J. (1995): “A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data.” *Empirical Economics*, 20(2), 325–332. <https://doi.org/10.1007/BF01205442>
- Battese, G. E., y Corra, G. S. (1977): “Estimation of a Production Frontier Model: With Application To the Pastoral Zone of Eastern Australia.” *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 21(3), 169–179. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.1977.tb00204.x>
- Bergerson, J. A., y Lave, L. B. (2007): *Baseload coal investment decisions under uncertain carbon legislation*. <https://doi.org/10.1021/ES062198E>
- Bloch, H., Rafiq, S., y Salim, R. (2015): “Economic growth with coal, oil and renewable energy consumption in China: Prospects for fuel substitution.” *Economic Modelling*, 44, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.09.017>
- Bonifaz, J. L., y Santin, D. (2000): “Eficiencia relativa de las empresas distribuidoras de energía eléctrica en el Perú: una aplicación del análisis envolvente de datos (DEA).” *Apuntes / Centro de Investigación de La Universidad Del Pacífico : Revista de Ciencias Sociales*, 47, 111–138.
- Burritt, R. L., Schaltegger, S., y Zvezdov, D. (2011): “Carbon management accounting: Explaining practice in leading German companies.” *Australian Accounting Review*, 21(1), 80–98. <https://doi.org/10.1111/j.1835-2561.2010.00121.x>
- Carballo-Penela, A., Mateo-Mantecón, I., Alvarez, S., y Castromán-Diz, J. L. (2017): “The role of green collaborative strategies in improving

- environmental sustainability in supply chains: Insights from a case study.” *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.2027>
- Chang, D. S., Chen, Y. T., y Chen, W. D. (2009): “The exogenous factors affecting the cost efficiency of power generation.” *Energy Policy*, *37*(12), 5540–5545. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.018>
- Chang, V., y Tovar, B. (2014a): “Drivers explaining the inefficiency of Peruvian and Chilean ports terminals.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *67*, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.04.011>
- Chang, V., y Tovar, B. (2014b): “Efficiency and productivity changes for Peruvian and Chilean ports terminals: A parametric distance functions approach.” *Transport Policy*, *31*, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.11.007>
- Chappin, E. J. L., y Dijkema, G. P. J. (2009): “On the impact of CO2 emission-trading on power generation emissions.” *Technological Forecasting and Social Change*, *76*(3), 358–370. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2008.08.004>
- Chen, G. Q., y Wu, X. F. (2017): “Energy overview for globalized world economy: Source, supply chain and sink.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *69*, 735–749. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.11.151>
- Chen, T. Y. (2002): “An assessment of technical efficiency and cross-efficiency in Taiwan’s electricity distribution sector.” *European Journal of Operational Research*, *137*(2), 421–433. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00101-1)

- Chen, Z., Barros, C. P., y Borges, M. R. (2015): “A Bayesian stochastic frontier analysis of Chinese fossil-fuel electricity generation companies.” *Energy Economics*, 48, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.12.020>
- Christensen, L. R., Jorgenson, D. W., y Lau, L. J. (1973): “Transcendental Logarithmic Production Frontiers.” *The Review of Economics and Statistics*, 55(1), 28–45. <https://doi.org/10.2307/1927992>
- Cobb, C. W., y Douglas, P. H. (1928): “A theory of production.” *The American Economic Review*, 18(1), 139–165.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O’Donnell, C. J., y Battese, G. E. (2005): *An introduction to efficiency and productivity analysis*.
<https://doi.org/10.1007/b136381>
- Cornwell, C., Schmidt, P., y Sickles, R. C. (1990): “Production frontiers with cross-sectional and time-series variation in efficiency levels.” *Journal of Econometrics*, 46(1–2), 185–200.
[https://doi.org/10.1016/0304-4076\(90\)90054-W](https://doi.org/10.1016/0304-4076(90)90054-W)
- Coto-Millán, P., Baños-Pino, J., Sainz-González, R., Pesquera-Gonzalez, M. Á., Núñez-Sánchez, R., Mateo-Mantecón, I., y Casares-Hontañón, P. (2011): “Determinants of demand for international maritime transport: An application to Spain.” *Maritime Economics and Logistics*, 13(3), 237–249.
<https://doi.org/10.1057/mel.2011.10>
- Coto-Millán, P., Baños-Pino, J., y Villaverde-Castro, J. (2005): “Determinants of the demand for maritime imports and exports.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(4), 357–372.

<https://doi.org/10.1016/j.tre.2004.05.002>

Coto-Millán, P., de la Fuente, M., y Fernández, X. L. (2017): “The paradox of energy regulation: The inefficiency of nuclear production.” *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(6), 504–511.

<https://doi.org/10.1080/15567249.2016.1209708>

Coto-Millán, P., de la Fuente, M., Fernández, X. L., y Pesquera, M. Á. (2019): “The impact of deregulation in the hydrocarbon sector: Evidence at the main Spanish ports of import of hydrocarbons (1986-2013).” *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 11(1), 41–59.

Coto-Millán, P., Fernández, X. L., Casares-Hontañón, P., Inglada, V., y Pesquera, M. Á. (2015): “Assessing two airline models: Legacy vs. low cost carriers.” *International Journal of Transport Economics*, 42(4), 487–505.

Coto-Millán, P., Fernández, X. L., Hidalgo, S., y Pesquera, M. Á. (2016): “Public regulation and technical efficiency in the Spanish Port Authorities: 1986–2012.” *Transport Policy*, 47, 139–148.

<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.01.006>

Coto-Millán, Pablo, de la Fuente, M., y Fernández, X. L. (2018): “Determinants of the European electricity companies efficiency: 2005–2014.” *Energy Strategy Reviews*, 21, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.06.001>

Cucculelli, M., Mannarino, L., Puppo, V., y Ricotta, F. (2014): “Owner-Management, Firm Age, and Productivity in Italian Family Firms.” *Journal of Small Business Management*, 52(2), 325–343.

<https://doi.org/10.1111/jsbm.12103>

- Da Silva, P. P., Moreno, B., y Figueiredo, N. C. (2016): “Firm-specific impacts of CO2 prices on the stock market value of the Spanish power industry.” *Energy Policy*, 94, 492–501. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2016.01.005>
- Davison, A. C., y Hinkley, D. V. (1997): *Bootstrap methods and their application* (Cambridge University Press, Ed.). Cambridge.
- Delmas, M., y Tokat, Y. (2005): “Deregulation, governance structures, and efficiency: the U.S. electric utility sector.” *Strategic Management Journal*, 26(5), 441–460. <https://doi.org/10.1002/smj.456>
- Díaz-Hernández, J. J., Martínez-Budría, E., y Jara-Díaz, S. (2007): “Productivity in Cargo Handling in Spanish Ports During a Period of Regulatory Reforms.” *Networks and Spatial Economics*, 8(2–3), 287–295. <https://doi.org/10.1007/s11067-007-9056-1>
- Díaz-Hernández, J. J., Martínez-Budría, E., y Salazar-González, J. J. (2014): “Measuring cost efficiency in the presence of quasi-fixed inputs using dynamic Data Envelopment Analysis: The case of port infrastructure.” *Maritime Economics & Logistics*, 16(2), 111–126. <https://doi.org/10.1057/mel.2013.28>
- Directiva 2003/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de junio de 2003 sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural y por la que se deroga la Directiva 98/30/CE. Disponible en <https://publications.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/75aedca8-7c02-43af-b037-8436f6f559e9>
- Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de

Referencias

- emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0087&from=ES>
- Echeverri, D. P. (2006): *Valuing Risk-Reduction: Three applications in the Electricity Industry*. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.
- Fallahi, A., Ebrahimi, R., y Ghaderi, S. F. (2011): “Measuring efficiency and productivity change in power electric generation management companies by using data envelopment analysis: A case study.” *Energy*, 36(11), 6398–6405. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2011.09.034>
- Färe, R., Grosskopf, S., y Lovell, C. A. K. (1985): *The measurement of efficiency of production*. Springer Netherlands.
- Färe, R., Margaritis, D., Rouse, P., y Roshdi, I. (2016): “Estimating the hyperbolic distance function: A directional distance function approach.” *European Journal of Operational Research*, 254, 312–319. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.03.045>
- Färe, R., y Primont, D. (2012): *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0651-1>
- Färe, Rolf, y Grosskopf, S. (2004): “Modeling undesirable factors in efficiency evaluation: Comment.” *European Journal of Operational Research*, 157(1), 242–245. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00191-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00191-7)
- Farrell, M. J. (1957): “The measurement of productive efficiency.” *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120(3), 253–290.

<https://doi.org/10.2307/2343100>

Fernández-López, X. L., y Coto-Millán, P. (2015): “From the Boom to the Collapse: a Technical Efficiency Analysis of the Spanish Construction Industry during the Financial Crisis.” *Construction Economics and Building*, 15(1), 104–117. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v15i1.4168>

Finkbeiner, M. (2009): “Carbon footprinting—opportunities and threats.” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(2), 91–94.
<https://doi.org/10.1007/s11367-009-0064-x>

Fong See, K., y Coelli, T. (2012): “An analysis of factors that influence the technical efficiency of Malaysian thermal power plants.” *Energy Economics*, 34, 677–685. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.09.005>

Gharneh, N. S., Nabavieh, A., Gholamiangonabadi, D., y Alimoradi, M. (2014): “Productivity change and its determinants: Application of the Malmquist index with bootstrapping in Iranian steam power plants.” *Utilities Policy*, 31, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2014.10.001>

Giannarakis, G., Zafeiriou, E., y Sariannidis, N. (2017): “The impact of carbon performance on climate change disclosure.” *Business Strategy and the Environment*, 26(8), 1078–1094. <https://doi.org/10.1002/bse.1962>

Gómez-Calvet, R., Conesa, D., Gómez-Calvet, A. R., y Tortosa-Ausina, E. (2014): “Energy efficiency in the European Union: What can be learned from the joint application of directional distance functions and slacks-based measures?” *Applied Energy*, 132, 137–154.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.053>

Referencias

- González, M. M., y Trujillo, L. (2008): “Reforms and infrastructure efficiency in Spain’s container ports.” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(1), 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.08.006>
- González, S., y Hernández, E. (2016): “Impactos indirectos de los precios del petróleo en el crecimiento económico colombiano.” *Lecturas de Economía*, 84, 131–141. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n84a04>
- Goto, M., y Tsutsui, M. (1998): “Comparison of productive and cost efficiencies among Japanese and US electric utilities.” *Omega - The International Journal of Management Science*, 26(2), 177–194.
[https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(97\)00073-X](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(97)00073-X)
- Goto, M., y Tsutsui, M. (2008): “Technical efficiency and impacts of deregulation: An analysis of three functions in U.S. electric power utilities during the period from 1992 through 2000.” *Energy Economics*, 30(1), 15–38.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.05.020>
- Greene, W. H. (2005): “Fixed and random effects in stochastic frontier models.” *Journal of Productivity Analysis*, 23(1), 7–32.
<https://doi.org/10.1007/s11123-004-8545-1>
- Greene, W. H. (2008): “The econometric approach to efficiency analysis.” In *The measurement of productive efficiency and productive growth* (pp. 92–250).
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195183528.001.0001>
- Guesmi, K., Boubaker, H., y Lai, V. S. (2016): “From Oil to Stock Markets.” *Journal of Economic Integration*, 31(1), 103–133.
- Guo, X., Lu, C. C., Lee, J. H., y Chiu, Y. H. (2017): “Applying the dynamic DEA

- model to evaluate the energy efficiency of OECD countries and China.” *Energy*, 134, 392–399. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.06.040>
- Gupta, J. P., y Sravat, A. K. (1998): “Development and project financing of private power projects in developing countries: A case study of India.” *International Journal of Project Management*, 16(2), 99–105. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(97\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(97)00030-6)
- Hamilton, J. D. (2009): “Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-08.” *Brookings Papers on Economic Activity*, 40(1(Spring)), 215–283.
- Heshmati, A., Lee, S., y Hwang, W. (2012): “Performance Analysis of Power Plants under Heterogeneous Technologies with Meta Frontier Framework.” *International Journal of Economics and Management Engineering*, 2(1), 5–14.
- Hidalgo-Gallego, S., Núñez-Sánchez, R., y Coto-Millán, P. (2015): “Demand uncertainty and overcapacity in port infrastructure: the role of passengers.” *Revista de Evaluación de Programas y Políticas Públicas*, 1(4), 17. <https://doi.org/10.5944/reppp.4.2015.13151>
- Hjalmarsson, L., y Veiderpass, A. (1992): “Efficiency and ownership in Swedish electricity retail distribution.” *Journal of Productivity Analysis*, 3(1), 7–23. <https://doi.org/10.1007/BF00158766>
- Huang, W., Bruemmer, B., y Huntsinger, L. (2016): “Incorporating measures of grassland productivity into efficiency estimates for livestock grazing on the Qinghai-Tibetan Plateau in China.” *Ecological Economics*, 122, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.11.025>

Referencias

- Huang, Y. J., Chen, K. H., y Yang, C. H. (2010): “Cost efficiency and optimal scale of electricity distribution firms in Taiwan: An application of metafrontier analysis.” *Energy Economics*, 32, 15–23.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.03.005>
- IEA (2015): IEA | International Energy Agency - Statistics Search. Último acceso 13 de Agosto, 2015, disponible en International Energy Agency website:
<https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>
- IEA (2016): IEA | International Energy Agency - Statistics Search. Último acceso 30 de Mayo, 2016, disponible en
<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>
- IEA (2017): *IEA | International Energy Agency - CO2 Emissions from fuel combustion 2017 - Highlights*. disponible en
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf>
- INE (2016): Instituto Nacional de Estadística - Tráfico de mercancías en España. Último acceso 14 de Febrero, 2016, disponible en
http://www.ine.es/inebmenu/mnu_transporte.htm=pcaxis
- Jondrow, J., Lovell, C. A. K., Materov, I. S., y Schmidt, P. (1982): “On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model.” *Journal of Econometrics*, 19(2), 233–238.
[https://doi.org/10.1016/0304-4076\(82\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(82)90004-5)
- Kilian, L. (2008): “Exogenous oil supply shocks: How big are they and how much do they matter for the US economy?” *Review of Economics and Statistics*,

90(2), 216–240.

Knittel, C. R. (2002): “Alternative regulatory methods and firm efficiency: Stochastic frontier evidence from the U.S. electricity industry.” *Review of Economics and Statistics*, 84(3), 530–540.

<https://doi.org/10.1162/003465302320259529>

Kodde, D. A., y Palm, F. C. (1986): “Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions.” *Econometrica*, 54(5), 1243–1248.

Kumbhakar, S. C. (1990): “Production frontiers, panel data, and time-varying technical inefficiency.” *Journal of Econometrics*, 46(1–2), 201–211.

[https://doi.org/10.1016/0304-4076\(90\)90055-X](https://doi.org/10.1016/0304-4076(90)90055-X)

Kumbhakar, S. C. (2012): “Specification and estimation of primal production models.” *European Journal of Operational Research*, 217(3), 509–518.

<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.09.043>

Kumbhakar, S. C., Asche, F., y Tveteras, R. (2013): “Estimation and decomposition of inefficiency when producers maximize return to the outlay: an application to Norwegian fishing trawlers.” *Journal of Productivity Analysis*, 40(3), 307–321. <https://doi.org/10.1007/s11123-012-0336-5>

Lee, Y. H., y Schmidt, P. (1993): “A production frontier model with flexible temporal variation I technical efficiency.” In H. O. Fried, C. A. Knox-Lovell, & S. S. Schmidt (Eds.), *The Measurement of Productive Efficiency* (pp. 237–255). Oxford: Oxford University Press.

Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. Disponible en

Referencias

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2005/11/04/1315>

Ley 12/2007, de 2 de julio, por la que se modifica la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, con el fin de adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural. Disponible en <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/07/02/12>

Ley 15/1992, de 5 de junio, sobre medidas urgentes para la progresiva adaptación del sector petrolero al marco comunitario. Disponible en <https://www.boe.es/eli/es/l/1992/06/05/15>

Ley 21/1974, de 27 de junio, sobre Investigación y Explotación de Hidrocarburos. Disponible en <https://www.boe.es/boe/dias/1974/06/29/pdfs/A13554-13564.pdf>

Ley 34/1992, de 22 de diciembre, de ordenación del sector petrolero. Disponible en <https://www.boe.es/eli/es/l/1992/12/22/34>

Ley 34/1998, de 7 de octubre, del sector de hidrocarburos. Disponible en <https://www.boe.es/eli/es/l/1998/10/07/34/con>

Ley 45/1984, de 17 de diciembre, de Reordenación del Sector Petrolero. Disponible en <https://www.boe.es/eli/es/l/1984/12/17/45>

Ley de 26 de diciembre de 1958 sobre Régimen Jurídico de la Investigación y Explotación de Hidrocarburos. Disponible en <https://www.boe.es/datos/pdfs/BOE//1958/311/A11929-11937.pdf>

Liu, S. Wang, J. (2014): “China’s thermal power industry total factor energy

- efficiency and its convergence.” *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(4), 128–135.
- Liu, C. H., Lin, S. J., y Lewis, C. (2010): “Evaluation of thermal power plant operational performance in Taiwan by data envelopment analysis.” *Energy Policy*, 38(2), 1049–1058. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.057>
- Lu, C. C., Chiu, Y. H., Shyu, M. K., y Lee, J. H. (2013): “Measuring CO2 emission efficiency in OECD countries: Application of the Hybrid Efficiency model.” *Economic Modelling*, 32, 130–135.
<https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.01.047>
- MAPAMA. (2017): Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente: Informes de aplicación del comercio de derechos de emisión en España (Artículo 21 de la Directiva 2003/87/CE): Último acceso 21 de Julio, 2017, disponible en
<http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/el-comercio-de-derechos-de-emision-en-espana/evaluacion-y-cumplimiento/>
- Marques, A. C., Fuinhas, J. A., y Pires Manso, J. R. (2010): “Motivations driving renewable energy in European countries: A panel data approach.” *Energy Policy*, 38(11), 6877–6885. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2010.07.003>
- Medal-Bartual, A., Molinos-Senante, M., y Sala-Garrido, R. (2016): “Assessment of the total factor productivity change in the Spanish ports: Hicks–Moorsteen productivity index approach.” *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 142(1), 04015013–04015013.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000313](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000313)

Referencias

- Meeusen, W., y Van Den Broeck, J. (1977): “Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error.” *International Economic Review*, 18(2), 435–444. <https://doi.org/10.2307/2525757>
- Mellah, T., y Ben Amor, T. (2016): “Performance of the Tunisian Water Utility: An input-distance function approach.” *Utilities Policy*, 38, 18–32. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.11.001>
- MINETUR. (2013): Participación de la energía nucleoelectrica en la generación de electricidad en el mundo - Mº de Industria, Energía y Turismo. Último acceso 8 de Agosto, 2015, disponible en <http://www.minetur.gob.es/energia/nuclear/Centrales/Mundo/Paginas/participacion.aspx>
- Mirzaei, A., y Al-Khoury, R. S. F. (2016): “The resilience of oil-rich economies to the global financial crisis: Evidence from Kuwaiti financial and real sectors.” *Economic Systems*, 40(1), 93–108. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2015.08.001>
- Modigliani, F., y Miller, M. H. (1958): “The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment.” *The American Economic Review*, 48(3), 261–297. <https://doi.org/10.2307/1809766>
- Narayan, P. K., y Sharma, S. S. (2014): “Firm return volatility and economic gains: The role of oil prices.” *Economic Modelling*, 38, 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.12.004>
- Navarro, J. C. L., y Torres, Z. (2006): “Eficiencia técnica y asignativa del sector eléctrico en México en su fase de distribución: Un análisis através de los

- modelos de frontera DEA.” *Mundo Siglo XXI*, 7, 35–43.
- Nemoto, J., y Goto, M. (2003): “Measurement of dynamic efficiency in production: an application of data envelopment analysis to Japanese electric utilities.” *Journal of Productivity Analysis*, 19(2–3), 191–210.
<https://doi.org/10.1023/A:1022805500570>
- Newcomer, A., Blumsack, S. A., Apt, J., Lave, L. B., y Morgan, M. G. (2008): “Short Run Effects of a Price on Carbon Dioxide Emissions from U.S. Electric Generators.” *Environmental Science & Technology*, 42(9), 3139–3144.
<https://doi.org/10.1021/es071749d>
- Núñez-Sánchez, R., y Coto-Millán, P. (2012): “The impact of public reforms on the productivity of Spanish ports: A parametric distance function approach.” *Transport Policy*, 24, 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.07.011>
- Park, J., y Ratti, R. A. (2008): “Oil price shocks and stock markets in the US and 13 European countries.” *Energy Economics*, 30(5), 2587–2608.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.04.003>
- PIPE. (2016): Pipe | Plataforma de Inversores en Puertos Españoles. Último acceso 18 de Febrero, 2016, disponible en <http://plataformaipse.com/>
- Pitt, M. M., y Lee, L. F. (1981): “The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry.” *Journal of Development Economics*, 9(1), 43–64. [https://doi.org/10.1016/0304-3878\(81\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0304-3878(81)90004-3)
- Plane, P. (1999): “Privatization, technical efficiency and welfare consequences: The case of the Côte d’Ivoire Electricity company (CIE).” *World Development*, 27(2), 343–360.

[https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(98\)00139-9](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(98)00139-9)

Ponce-Jara, M. A., Ruiz, E., Gil, R., Sancristóbal, E., Pérez-Molina, C., y Castro, M. (2017): “Smart Grid: Assessment of the past and present in developed and developing countries.” *Energy Strategy Reviews*, 18, 38–52.

<https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.09.011>

Puertos del Estado. (2016): Puertos del Estado. Último acceso 15 de Febrero, 2016, disponible en <http://www.puertos.es/es-es>

Rączka, J. (2001): “Explaining the performance of heat plants in Poland.” *Energy Economics*, 23(4), 355–370. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(00\)00076-1](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(00)00076-1)

Real Decreto-ley número 1142, de 28 de junio de 1927, estableciendo el Monopolio de Petróleos. Disponible en

<https://campsa.cnmc.es/sites/default/files/2018-11/0-RDL1142-1927.pdf>

Real Decreto-ley 4/1988, de 24 de junio, por el que se modifica el régimen de distancias mínimas entre estaciones de servicio. Disponible en

<https://www.boe.es/eli/es/rdl/1988/06/24/4>

Real Decreto-ley 5/1985, de 12 de diciembre, de adaptación del Monopolio de Petróleos. Disponible en Boletín Oficial del Estado website:

<https://www.boe.es/eli/es/rdl/1985/12/12/5>

Rodríguez-Álvarez, A., y Tovar, B. (2012): “Have Spanish port sector reforms during the last two decades been successful? A cost frontier approach.” *Transport Policy*, 24, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.06.004>

Rodríguez-Álvarez, A., Tovar, B., y Trujillo, L. (2007): “Firm and time varying

- technical and allocative efficiency: An application to port cargo handling firms.” *International Journal of Production Economics*, 109(1–2), 149–161.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.12.048>
- Rosett, R. N., y Nelson, F. D. (1975): “Estimation of the two-limit probit regression model.” *Econometrica*, 43(1), 141–146.
<https://doi.org/10.2307/1913419>
- SABI (2017): Data | SABI. Último acceso 1 de Agosto, 2017, disponible en <https://sabi.bvdinfo.com>
- Sahin, A. Z., y Yilbas, B. S. (2012): “The influence of operating and device parameters on the maximum efficiency and the maximum output power of thermoelectric generator.” *International Journal of Energy Research*, 36(1), 111–119. <https://doi.org/10.1002/er.1783>
- Sartori, S., Witjes, S., y Campos, L. M. S. (2017): “Sustainability performance for Brazilian electricity power industry: An assessment integrating social, economic and environmental issues.” *Energy Policy*, 111, 41–51.
<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2017.08.054>
- Schaltegger, S., y Csutora, M. (2012): “Carbon accounting for sustainability and management. Status quo and challenges.” *Journal of Cleaner Production*, 36, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.06.024>
- Seifert, S., Cullmann, A., y von Hirschhausen, C. (2016): “Technical efficiency and CO2 reduction potentials — An analysis of the German electricity and heat generating sector.” *Energy Economics*, 56, 9–19.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.020>

Referencias

- Seiford, L. M., y Zhu, J. (2002): “Modeling undesirable factors in efficiency evaluation.” *European Journal of Operational Research*, 142(1), 16–20.
[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00293-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00293-4)
- Sekar, R. C., Parsons, J. E., Herzog, H. J., y Jacoby, H. D. (2007): “Future carbon regulations and current investments in alternative coal-fired power plant technologies.” *Energy Policy*, 35(2), 1064–1074.
<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2006.01.020>
- SendeCO2. (2017): Precios CO2 - Sendeco2. Último acceso 12 de Agosto, 2017, disponible en <http://www.sendeco2.com/es/precios-co2>
- Shephard, R. W. (1953): *Cost and production functions*. Princeton: Princeton University Press.
- Şirin, S. M. (2017): “A panel data analysis on the costs of Turkish electricity distribution companies.” *Energy Strategy Reviews*, 18, 250–259.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.10.004>
- Song, W., y Park, S. (2011): “Oil Price and Total Factor Productivity of Korean Manufacturing Industries.” *The Journal of the Korean Econometric Society*, 22(4), 47–75.
- Stechemesser, K., y Guenther, E. (2012): “Carbon accounting: a systematic literature review.” *Journal of Cleaner Production*, 36, 17–38.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2012.02.021>
- Stevenson, R. E. (1980): “Likelihood functions for generalized stochastic frontier estimation.” *Journal of Econometrics*, 13(1), 57–66.
[https://doi.org/10.1016/0304-4076\(80\)90042-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(80)90042-1)

- Sueyoshi, T., Goto, M., y Shang, J. (2009): “Core business concentration vs. corporate diversification in the US electric utility industry: Synergy and deregulation effects.” *Energy Policy*, 37(11), 4583–4594.
<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2009.06.013>
- Tao, F., Guo, J. W., y Yang, S. X. (2008): “Technical efficiency of Chinese power generation and its determinants in the period of electric-system transition.” *China Industrial Economics*, 1(007), 68–76.
- Thakur, T., Deshmukh, S. G., y Kaushik, S. C. (2006): “Efficiency evaluation of the state owned electric utilities in India.” *Energy Policy*, 34(17), 2788–2804.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.03.022>
- Theißen, S., Spinler, S., y Huchzermeier, A. (2014): “Reducing the Carbon Footprint within Fast-Moving Consumer Goods Supply Chains through Collaboration: The Manufacturers’ Perspective.” *Journal of Supply Chain Management*, 50(4), 44–61. <https://doi.org/10.1111/jscm.12048>
- Tobin, J. (1958): “Estimation of relationships for limited dependent variables.” *Econometrica*, 26(1), 24–36. <https://doi.org/10.2307/1907382>
- Wang, H., y Schmidt, P. (2002): “One-Step and Two-Step Estimation of the Effects of Exogenous Variables on Technical Efficiency Levels.” *Journal of Productivity Analysis*, 18(2), 129–144.
<https://doi.org/10.1023/A:1016565719882>
- Wanke, P., y Barros, C. P. (2016): “New evidence on the determinants of efficiency at Brazilian ports: a bootstrapped DEA analysis.” *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 8(3), 250.

<https://doi.org/10.1504/IJSTL.2016.076240>

Wilson, R. (2002): “Architecture of Power Markets.” *Econometrica*, 70(4), 1299–1340. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00334>

Yang, H., y Pollitt, M. (2009): “Incorporating both undesirable outputs and uncontrollable variables into DEA: The performance of Chinese coal-fired power plants.” *European Journal of Operational Research*, 197(3), 1095–1105. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2007.12.052>

Yang, M., Patiño-Echeverri, D., Yang, F., y Williams, E. (2015): “Industrial energy efficiency in China: Achievements, challenges and opportunities.” *Energy Strategy Reviews*, 6, 20–29.
<https://doi.org/10.1016/J.ESR.2014.11.007>

Yuan, J. H., Kang, J. G., Zhao, C. H., y Hu, Z. G. (2008): “Energy consumption and economic growth: Evidence from China at both aggregated and disaggregated levels.” *Energy Economics*, 30(6), 3077–3094.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.03.007>

Zhao, X., Yin, H., y Zhao, Y. (2015): “Impact of environmental regulations on the efficiency and CO2 emissions of power plants in China.” *Applied Energy*, 149, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.112>

Zhou, P., Poh, K. L., y Ang, B. W. (2007): “A non-radial DEA approach to measuring environmental performance.” *European Journal of Operational Research*, 178(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.04.038>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Cuadro A.1 Generación de electricidad:

Ranking de las 25 empresas más eficientes

Compañía	País	ET
1 EDP - ENERGIAS DE PORTUGAL	Portugal	0,927
2 ANTIN SOLAR INVESTMENTS	Italia	0,915
3 GENERACION EOLICA INTERNACIONAL	España	0,900
4 EUROWIND	Italia	0,897
5 PRENEAL	España	0,887
6 NRW ENERGIAS	Portugal	0,886
7 HERGO SUN	Italia	0,881
8 REN POWER CZ	Rep. Checa	0,877
9 MEGÚJULÓ ENERGIA HASZNOSÍTÓ	Hungría	0,877
10 STATKRAFT SVERIGE VATTENDEL 3 AB	Suecia	0,876
11 RM GLOBAL HERITAGE	España	0,871
12 IBERDROLA RENOVABLES ENERGIA	España	0,869
13 RISAN ENERGY S.R.L. & RISAN ENERGY	Italia	0,868
14 OPERA INVESTIMENTI	Italia	0,866
15 GREEN ENERGY PROFESSIONAL CONS	España	0,865
16 RENOVALIA SOLAR	España	0,865
17 ЕНЕРГОНИ АД	Bulgaria	0,865
18 HGT	Italia	0,864
19 ANALYSE DEVELOPPEMENT REALISATIO	France	0,863
20 MAPI ENERGIE S.R.L.	Italia	0,863
21 MARCINELLE ENERGIE	Bélgica	0,863
22 ENERGIE VERTE DE TEYSSODE	France	0,862
23 JOLIVET ENERGIES	France	0,861
24 EN & EN - ENERGIE PER ENERGIA	Italia	0,861
25 WINDMILL ENERGIE	España	0,860

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.2 Transporte de electricidad: Ranking de las 25 empresas más eficientes

Compañía	País	ET
1 UKA PROJEKTTRÄGER GMBH & CO. KG	Alemania	0,933
2 SEP, A.S.	Eslovaquia	0,920
3 DISTRIBUCIONES ELECTRICAS PORTILLO SL	España	0,894
4 ALLIANDER N.V.	Países Bajos	0,888
5 ELECTRODIMAR SL	España	0,882
6 JÄRVI-SUOMEN ENERGIA OY	Finlandia	0,881
7 TORRECILLAS VIDAL S.L.	España	0,869
8 ČEPS, A.S.	Rep. Checa	0,868
9 TERNA S.P.A.	Italia	0,866
10 N.V. NEDERLANDSE GASUNIE	Países Bajos	0,864
11 KYMENLAAKSON SÄHKÖVERKKO OY	Finlandia	0,859
12 PELLON SÄHKÖ OY	Finlandia	0,854
13 KSS ENERGIA OY	Finlandia	0,851
14 ELECTRICA GILENA SL	España	0,851
15 ELECTRICA DE LIJAR SL	España	0,850
16 LE-SÄHKÖVERKKO OY	Finlandia	0,850
17 KARHU VOIMA OY	Finlandia	0,849
18 EUTROPHIA S.R.L.	Italia	0,848
19 JYLHÄN SÄHKÖSUUSKUNTA	Finlandia	0,847
20 SUUR-SAVON SÄHKÖ OY	Finlandia	0,846
21 IMATRAN SEUDUN SÄHKÖNSIIRTO OY	Finlandia	0,845
22 ELVERUM NETT AS	Noruega	0,843
23 ROVAKAIRA OY	Finlandia	0,841
24 SATAPIRKAN SÄHKÖ OY	Finlandia	0,841
25 KESKUSOSUUSKUNTA OULUN SÄHKÖ	Finlandia	0,839

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.3 Distribución de electricidad: Ranking de las 25 empresas más eficientes

Compañía	País	ET
1 ЕНЕРГОРИНОК ГП	Ucrania	0,966
2 LUXEL	France	0,925
3 ENERGIA E AMBIENTE PASSIRIA S.C.	Italia	0,924
4 ÜBERLANDWERK GROß-GERAU GMBH	Alemania	0,913
5 EMPRESA ELECTRICA DE SAN PEDRO SL	España	0,910
6 ENALPIN AG	Suiza	0,908
7 ELEKTRIZITÄTSWERK UZNACH AG	Suiza	0,907
8 ТОРГОВА ЕЛЕКТРИЧНА КОМПАНИЈА ООО	Ucrania	0,907
9 SJØFOSSEN ENTREPRENØR AS	Noruega	0,899
10 EBL	Suiza	0,899
11 ENERGIEWERKE ISERNHAGEN GMBH	Alemania	0,897
12 RHENAG RHEINISCHE ENERGIE	Alemania	0,896
13 ELECTRICA DE ALBERGUERIA SA	España	0,896
14 HIDROELECTRICA DEL GUADIELA I SA	España	0,894
15 LEITUNGSPARTNER GMBH	Alemania	0,893
16 EWD ELEKTRIZITÄTSWERK DAVOS AG	Suiza	0,892
17 IDAR 2000 SOCIEDAD LIMITADA	España	0,889
18 ELECTRICITAT LA AURORA SL	España	0,888
19 ELECTRICA DEL GUADALFEO SL	España	0,888
20 INGENIA SOLAR ENERGY S.L.	España	0,888
21 STROMVERSORGUNG PIRNA GMBH	Alemania	0,886
22 RWE INNOGY AERSA SA	España	0,883
23 ELEKTRIZITÄTSWERK GRINDELWALD AG	Suiza	0,882
24 ELVERKET VALLENTUNA ELNÄT AB	Suecia	0,881
25 N.V. RENDO HOLDING	Países Bajos	0,881

Fuente: Elaboración propia.

APÉNDICE B

Cuadro B.1. Resultados de estimación. Heterogeneidad

Variables		Coef.	(Desv.)	Sign.
<i>Heterogeneidad, α</i>				
A Coruña	α_1	-9,419	(0,536)	***
Bahía de Algeciras	α_2	-9,510	(0,553)	***
Barcelona	α_3	-10,312	(0,566)	***
Bilbao	α_4	-9,891	(0,570)	***
Cartagena	α_5	-9,211	(0,530)	***
Castellón	α_6	-8,674	(0,525)	***
Huelva	α_7	-9,693	(0,548)	***
Las Palmas	α_8	-9,897	(0,548)	***
Málaga	α_9	-9,242	(0,515)	***
Santa Cruz de Tenerife	α_{10}	-9,590	(0,553)	***
Tarragona	α_{11}	-9,582	(0,553)	***

Fuente: Elaboración propia

Nota: ***, ** y * son los niveles de significación de las variables al 99%, 95% and 90%, respectivamente.