

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN EL SECTOR ELÉCTRICO: PROBLEMA DEL DÉFICIT TARIFARIO Y LA SOBRECAPACIDAD PRODUCTIVA

Sánchez Ortiz, Jaime
Universidad De Cádiz

Rodríguez Cornejo, Vanessa
Universidad De Cádiz

García Valderrama, Teresa
Universidad De Cádiz

Área temática: d) contabilidad y control de gestión

Palabras clave: Eficiencia; DEA input: Output no deseados; Sector eléctrico y Teoría de las Limitaciones.

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN EL SECTOR ELÉCTRICO: PROBLEMA DEL DÉFICIT TARIFARIO Y LA SOBRECAPACIDAD PRODUCTIVA

Resumen

La actividad de distribución de electricidad en España es una actividad regulada. En este trabajo, se estudia la eficiencia de las empresas distribuidoras de electricidad. En particular, analizamos basándonos en la Teoría de las Limitaciones si la regulación en España y los problemas de eficiencia del sector eléctrico afectan a las empresas distribuidoras de electricidad. Para ello, realizamos un análisis sobre la eficiencia de las principales empresas distribuidoras eléctricas en España (Endesa, Iberdola, Unión Fenosa, EDP y Viesgo) durante el periodo 2006-2015. La metodología es Data envelopment análisis (DEA) orientado al input a escalas constantes (CCR), utilizando datos de panel.

1. Introducción

El sector eléctrico español ha sufrido una profunda transformación desde el año 1998. Hasta entonces, la actividad del sector estaba concentrada en empresas caracterizadas por una importante estructura vertical, y que ejercían monopolio en las distintas regiones españolas. Como consecuencia de la Ley 54/1997 del sector eléctrico, se estableció la separación entre las actividades reguladas (transporte y distribución) y las no reguladas (producción y comercialización), debiendo las empresas eléctricas separar contable y jurídicamente dichas actividades.

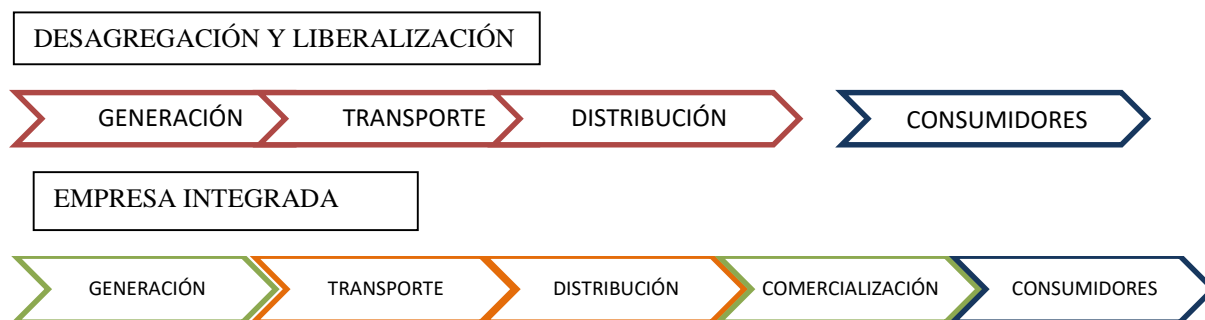


Figura 1. Proceso de desagregación y de liberalización (Elaboración propia a partir de AECA 2002).

Por tanto, la cadena de valor de las empresas eléctricas (Sánchez-Ortiz et al, 2016) se podría representar de una forma simple y sistemática mediante la siguiente figura:

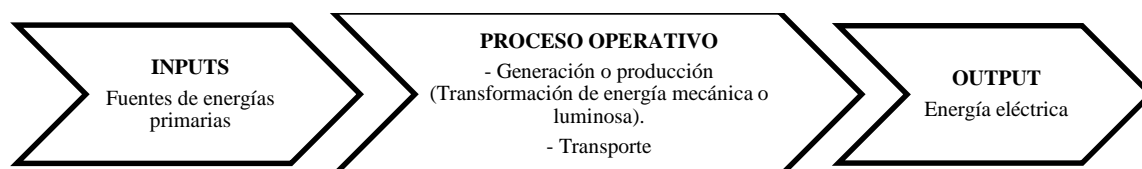


Figura 2. Cadena de valor de empresas eléctricas.

Este estudio está relacionado con la Teoría de las Limitaciones, cuyo concepto y aplicación práctica se ha estudiado en diversos artículos de investigación (Ronen y Starr, 1990; Fry et al, 1992; Gardiner y Blackstone, 1994; Spencer y Cox, 1995; Goldratt, 1998; Rahman, 1998; Blackstone, 2001; Iglesias, 2003; Mabin y Balderstone, 2003; Gupta et al., 2004; Davies et al., 2005; Watson et al., 2007 y Kim et al., 2008). Esta teoría explica que el primer paso para gestionar eficientemente las limitaciones de una empresa es identificar esas limitaciones, indicando que si hay una menor demanda que la capacidad que existe en la empresa, puede conducir a un fenómeno de sobrecapacidad. El exceso de capacidad puede ser debido a una limitación interna o, como afecta a nuestra investigación, por una limitación política. Por lo tanto, esta teoría de la contabilidad de gestión explica la causa de la existencia de esta sobrecapacidad productiva que afecta negativamente a la eficiencia de las empresas de distribución del sector eléctrico español (limitaciones políticas).

Por tanto, se puede afirmar que las empresas reguladas de energía eléctrica tienen limitaciones políticas (externas), debido a la existencia de un sistema de control que influye sobre el proceso productivo. En concreto, las empresas de distribución de energía eléctrica tienen dos posibles limitaciones políticas, las cuales afectan negativamente al nivel de eficiencia de estas empresas; la sobrecapacidad productiva del sector eléctrico y el déficit tarifario.

En el presente artículo, conociendo que la actividad de distribución es una actividad regulada, se estudiará la eficiencia en las empresas distribuidoras de energía eléctrica. Para ello, se ha realizado un estudio sobre la eficiencia de las principales empresas distribuidoras de energía eléctrica en España (Endesa, Iberdola, Unión Fenosa, EDP y Viesgo) durante el periodo 2006-2015. La técnica utilizada ha sido el Análisis Envolvente de Datos (DEA), modelo orientado al input a escalas constantes (CCR), trabajando con datos de panel.

2. El análisis de eficiencia en el Sector Eléctrico Español

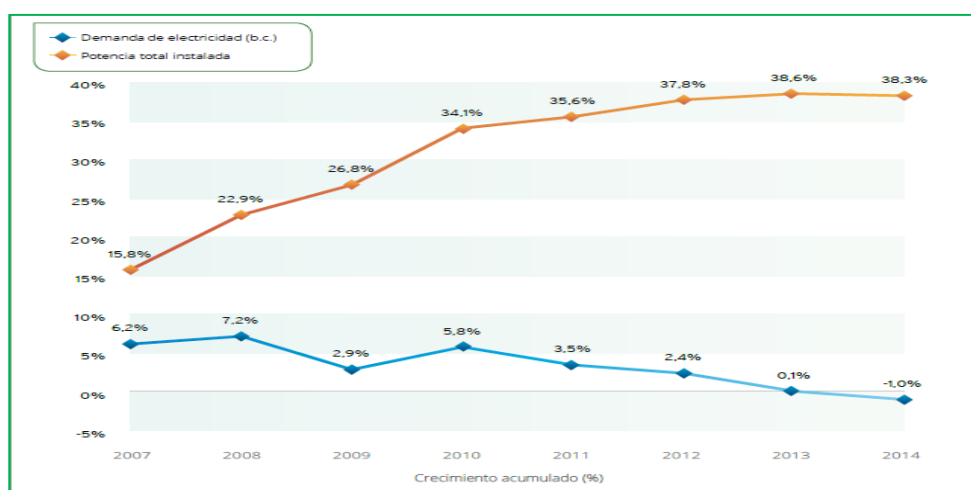
Existen diversos estudios actuales sobre el sector eléctrico español en sus diferentes actividades (Ciarreta y Espinosa, 2012; García y Moreno, 2012; Blázquez et al., 2013; Roldán-Fernández, 2014; Ciarreta y Zarraga, 2015; Miguel, 2015; Costa-Campi y Trujillo-Baute, 2015; Costa-Campi y Trujillo-Baute, 2016). Estos trabajos realizan un estudio del sector eléctrico español en sus diferentes actividades (estudios

medioambientales, estudios cálculo del precio de la actividad de generación, estudio de la demanda, de la regulación etc.) pero todos ellos con un objetivo común: “mejorar la eficiencia del sector eléctrico español”.

Los principales problemas que afectan de manera directa a la eficiencia del sector eléctrico español vienen identificados a través del informe de la Asociación de Empresas de Energías Renovables (2015) sobre la capacidad productiva en la generación y distribución de energía eléctrica y el informe de la Comisión Nacional del Mercado y la Competencia (2015) sobre la deuda del sector eléctrico:

1. Problemas con la capacidad productiva de distribución: El Real Decreto 436/2004, donde se explica la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, desarrolla la Ley del Sector Eléctrico y establece el esquema legal y económico para el régimen especial. Una vez aprobado dicho Real Decreto, debido a la retribución de energía en régimen especial (renovables, cogeneración y residuos) que se otorgan a las distribuidoras se ha generado un incremento excesivo en relación a la demanda. En el siguiente gráfico publicado por la Asociación de Empresas de Energías Renovables (2015) en los últimos diez años la potencia instalada ha crecido un 38,3%, pasando de 78.086 MW en 2005 a 107.954 MW en 2014, mientras que la demanda de electricidad se ha visto reducida hasta alcanzar en 2014 un valor inferior (258.117 GWh) al registrado en 2005 (260.704 GWh):

Gráfico 1: Evolución capacidad productiva: Potencia instalada vs Demanda b.c.

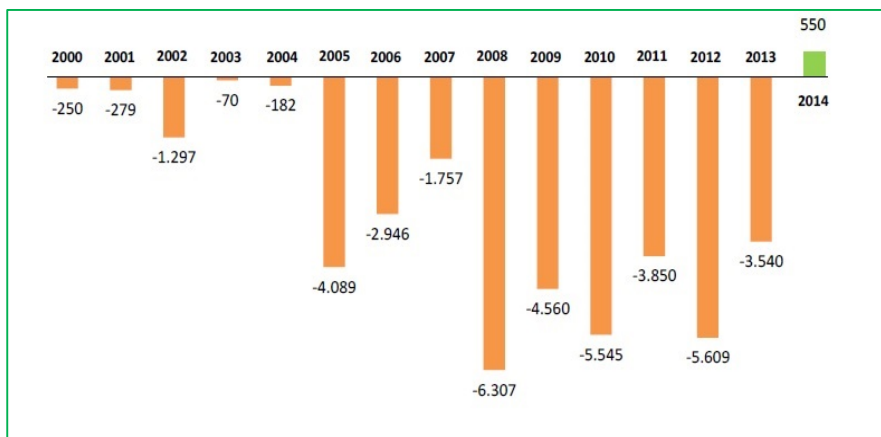


Fuente: Asociación de Empresas de Energías Renovables (2015) a partir de REE.

2. Déficit tarifario (Deuda del sector eléctrico): El déficit de tarifa se define como la diferencia entre los ingresos que obtienen las empresas eléctricas a través de la tarifa que paga el consumidor final (regulados por el Estado) y el

conjunto de los costes de distribución reconocidos por las compañías eléctricas españolas. La remuneración se calcula mediante un sistema de compensación a las empresas eléctricas por sobrecostes no cubiertos en el sistema. Las diferencias originadas entre la recaudación por las tarifas de acceso y los costes reales se deben a dos motivos: errores de estimación (revisión de los peajes de acceso anuales) o por la decisión del gobierno que fija las tarifas reguladas. En el siguiente gráfico publicado por la Comisión Nacional del Mercado y la Competencia, se observa los déficits anuales entre el año 2000-2014. Durante el año 2014 se ha reducido el déficit después de más de una década incrementándose.

Gráfico 2: Evolución anual déficit tarifario en España (2000-2014).



Fuente: CNMC a partir de la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico.

3. Cambios legislativos: Los continuos cambios legislativos que sufre el sector eléctrico en España, influyen considerablemente sobre la eficiencia del sector eléctrico, y más específicamente sobre la actividad de distribución al tratarse de una actividad regulada. En este trabajo, se estudiará la influencia de la Ley 17/2007 del sector eléctrico en la eficiencia de las empresas distribuidoras por la que se modifica la Ley 54/1997.

En resumen, en el presente trabajo se tratará de analizar concretamente la problemática de la capacidad productiva en la distribución de energía y la influencia de los cambios normativos sobre la eficiencia.

3. Análisis de la eficiencia en la cadena de distribución en el sector eléctrico español.

3.1. Objetivos e hipótesis de investigación

En el presente trabajo se van a plantear unos objetivos que permitan determinar cuáles son las empresas distribuidoras de energía eléctrica más eficientes y proponer soluciones para la mejora de eficiencia en las empresas distribuidoras eléctricas:

1. Estudiar la eficiencia de cada empresa distribuidora de electricidad en España.
 - H1.1. Una red de distribución más amplia influye positiva y significativamente sobre la eficiencia de cada empresa de distribución de energía eléctrica.
 - H1.2. Una red de distribución más amplia influye positiva y significativamente sobre la eficiencia de cada empresa de distribución energía eléctrica.
 - H1.3. La aprobación de la Ley 17/2007, por la que se modifica la Ley 54/1997 del sector eléctrico, ha influido positiva y significativamente sobre la eficiencia de cada empresa de distribución de energía eléctrica.

2. Estudiar la calidad de la energía eléctrica distribuida en España.
 - H2.1. Una red de distribución más amplia afecta negativa y significativamente sobre la calidad de energía eléctrica distribuida.

3. Estudiar la influencia de la regulación en la actividad de distribución de energía eléctrica en España.
 - H3.1. Las subvenciones de energías renovables han influido negativa y significativamente sobre la situación de sobrecapacidad productiva de las distribuidoras eléctricas.

4. Estudiar la incidencia del déficit tarifario sobre el nivel de eficiencia de cada empresa distribuidora.
 - H4.1 El déficit tarifario afecta negativa y significativamente sobre sobre el nivel de eficiencia de las empresas distribuidoras.

3.2. Metodología empleada: DEA orientado al input a escalas constantes (CCR)

El uso de esta metodología para el estudio de la eficiencia en el sector eléctrico se debe en parte a que, la industria ha estado regulada durante largo tiempo por los gobiernos locales y centrales. Bajo tales regulaciones gubernamentales, se conocía que existía un grado "ineficiencia X" que podría surgir debido a una falta de disciplina de la competencia en el mercado (Leibenstein, 1966).

Existen muchos estudios recientes sobre el sector de la distribución de electricidad que utilizan el análisis DEA para medir la eficiencia (Yadav et al. 2011; Çelen y Yalçın, 2012; Amado et al., 2013; Kuosmanen et al., 2013a; Agrell y Niknazar, 2014; Cambini et al., 2014; Dai y Kuosmanen, 2014; Azadeh et al., 2015; Gouveia et al., 2015; Moreno et al., 2015; Mullarkey et al., 2015 y Li K. y Lin B., 2016).

El modelo CCR que vamos a aplicar es el modelo de problemas duales, donde la formulación CCR sería la siguiente (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978):

Cuadro 3.1: Modelo DEA CCR

Orientación input
$\text{Max } \eta_0 - \varepsilon [\sum_{i=1}^m S_i^+ + \sum_{r=1}^s S_r^-]$
$\text{s.a.: } \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + S_i^+ = X_{i0}$
$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} + S_r^- = \eta_0 Y_{r0}$
$\lambda_j, S_i^+, S_r^- \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$
$i = 1, 2, \dots, m$
$r = 1, 2, \dots, s$

Fuente: Charnes, Cooper y Rhodes, 1978

Para el planteamiento del problema dual para el modelo CCR, orientado al input, X_{ij} e Y_{ij} representan la cantidad i-ésima de recursos y de producto correspondiente a la entidad "j"; λ_j son junto con η_0 una de las variables del modelo y los parámetros a partir de los que se construye el grupo de referencia de la entidad objeto de estudio; S_i^+ y S_r^- son las variables de holgura de cada una de las restricciones del modelos, η_0 por su parte representa la tasa de eficiencia de la entidad que se está valorando y ε representa un infinitesimal.

3.2.1. Output no deseados

Pero puede ocurrir que tanto los inputs se conviertan en deseables para la organización o los outputs no deseables, como en el caso de los residuos medioambientales, ya en los trabajos de Koopmans (1951) y Farrell (1957) se menciona la posibilidad de que del proceso productivo puedan surgir determinadas consecuencias no deseables o efectos nocivos, así como que determinados factores productivos tengan un carácter deseable para la organización.

Korhonen y Luptacik (2004) en el que se hace un recorrido por los posibles modelos orientados en el caso de outputs no deseables. En este artículo, utilizaremos la incorporación de los outputs no deseables como inputs. La principal ventaja de este procedimiento es que se mantiene de manera natural la maximización y minimización de cada categoría de variables. Por el contrario, se rompe el esquema característico del proceso productivo.

En este estudio, se utilizará el output no deseable como un input. Para tratar el output no deseable como un input, Hao Liu et al (2013) propone el siguiente modelo:

$$\max h_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{r=t+1}^s u_r y_{rk}}$$

Sujeto a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=t+1}^s u_r y_{rj}} \leq 1 ; \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Como se puede observar, la formulación anterior integra los outputs no deseables dentro de cada DMU, reduciendo los inputs y los outputs no desables con el fin de aumentar la Eficiencia (Dyckhoof y Allen, 2001). En la actualidad, muchos investigadores (Wang et al. 2014, Zanella et al. 2015, Bi et al. 2015, Zhou et al., 2016 y Li y Lin, 2016) utilizan este método para incorporar los outputs no deseables a sus respectivos modelos.

En el presente trabajo el Output no deseable será el tiempo de interrupción de la energía eléctrica en España de modo que a mayor tiempo de interrupción final en la distribución de energía eléctrica, empeora la calidad de la misma. Un ejemplo actual que

utiliza un output no deseable relacionado con la calidad es el trabajo de Molino-Senante et al. (2016), donde se estudia la calidad y tratamiento del agua.

3.3. Muestra y variables

El estudio empírico se realiza sobre una muestra formada por las cinco grandes empresas distribuidoras de energía eléctrica (Tabla 1) que operan en España, ya que realizan el 95 % de la actividad de distribución de energía eléctrica en España (Informe del mercado minorista de electricidad, 2015). El periodo de estudio de la eficiencia de estas empresas vendrá comprendido entre 2006 y 2015. El resto de empresas eléctricas distribuidoras solo suponen un 5% de la actividad total y distribuyen en su mayoría en pequeños pueblos. Al tratarse de una muestra pequeña, cada DMU será una empresa distribuidora por año.

Tabla 1: Muestra

Identificador	Organización
1	ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL
2	IBERDROLA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL
3	EDP ENERGÍA (HIDROCANTÁBRICO DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SA)
4	UNIÓN FENOSA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SA
5	EON ESPAÑA (VIESGO DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL)

Elaboración Propia (2016)

Hay empresas distribuidoras eléctricas que tienen una red de distribución más amplia. A continuación, según la Comisión Nacional del Mercado y la Competencia (2015), se muestran los puntos de suministro que deben abastecer cada empresa distribuidora durante el cuarto trimestre del año 2014:

Tabla 2: Puntos de suministro

Organización	Número de suministros
ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL	11.903.759
IBERDROLA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL	10.830.322
EDP ENERGÍA (HIDROCANTÁBRICO DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SA)	658.764

UNIÓN FENOSA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SA	3.767.759
EON ESPAÑA (VIESGO DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL)	613.469

Elaboración Propia (2016)

Para contrastar las hipótesis de este trabajo se ha planteado el siguiente modelo de eficiencia orientado al output (Tabla 3):

Tabla 3: Modelo de eficiencia de las Empresas eléctricas españolas

Modelo de Eficiencia	Inputs	Outputs
Eficiencia en distribución y transporte	MW: Potencia Nº Ins: Número de Instalaciones € Gatos de explotación. RRHH: Número de empleados %Cap: Capacidad de las distribuidoras	€ Exp: Ingresos Explotación GW/H: Cantidad de energía vendida a las comercializadoras Tiem Int: Tiempo de interrupción promedio

Elaboración propia (2016)

Tanto las variables inputs como las variables outputs se recogen más detalladamente en el Anexo 1 de este trabajo, y han sido obtenidos de la Comisión Nacional del Mercado y la Competencia, el Ministerio de Industria Turismo y Comercio y el Sistema de Análisis de Balances Ibéricos.

En cuanto a las variables outputs hay que diferenciar entre aquellos output deseables (Ingresos de explotación y cantidad de energía vendida a las comercializadoras) de la variable output no deseable, Tiempo de interrupción promedio (ya que a mayor tiempo de interrupción, empeora la calidad de la energía eléctrica).

4. Análisis y resultados

Con este modelo enfocado al input, se pretende mediante una función objetivo que cada DMU alcance la productividad de la unidad de referencia a costa de reducir la cantidad de recursos que consume. Este modelo se caracteriza por la extrapolación de

las diferentes DMUs operando en escalas de diferente tamaño, siendo un modelo muy discriminante para algunas DMUs.

En este modelo se definen 50 DMUs, ya que cada unidad organizativa es una empresa distribuidora de energía eléctrica en un año, es decir, una DMU sería Viesgo_2006 y otra DMU, sería Endesa_2007. Charnes et al. (1985) explica cómo analizar este tipo de modelos de eficiencia, que se distinguen de un modelo DEA normal en su interpretación, ya que permite obtener conclusiones a través de la eficiencia temporal, denominada multiperiodo (DMU_t). Este tipo de análisis es explicado por Hashimoto y Kodama (1997) o Stimson et al. (2002), Park y Park (2009) y Lan y Wang (2011). Es un tipo de metodología DEA adecuado para muestras pequeñas.

Como tenemos un horizonte temporal de 10 años y 5 empresas distribuidoras de energía eléctrica, como se ha afirmado anteriormente tendríamos 50 DMUs. Ahora se va a comprobar, si se cumplen los requisitos definidos anteriormente:

- Según Golany y Roll (1989) tendríamos 50 DMUs, 5 inputs y 3 outputs. Por tanto, $(5+3)*2=16$. Por tanto, $50 > 16$ por lo que se cumple esta regla.
- Según Murias (2004) tendríamos 50 DMUs, 5 inputs y 3 outputs. Por tanto, $(5*3)=15$. Por tanto, $50 > 15$ por lo que se cumple la regla.

Como podemos observar el 60% (30 DMUs de 50 DMUs) de las unidades analizadas presentan niveles de eficiencia iguales a 1, por tanto, son eficientes (Tabla 4). Por tanto, según el modelo CCR orientado al input, podemos afirmar la primera hipótesis de trabajo planteada en la presente tesis (H.1.1), ya que la mayoría de las empresas distribuidoras de energía eléctrica son eficientes.

Tabla 4: Ranking de empresas distribuidoras de energía eléctrica eficientes en España en el periodo 2006-2015 del modelo DEA CCR orientado al input.

Rank	DMU	Score
1	Viesgo/2015	1
1	Endesa/2006	1
1	Iberdrola2006	1
1	Hidrocantábrico/2006	1
1	Fenosa/2006	1
1	Viesgo/2006	1
1	Endesa/2007	1
1	Iberdrola2007	1
1	Hidrocantábrico/2007	1

1	Iberdrola2015	1
1	Viesgo/2007	1
1	Endesa/2015	1
1	Viesgo/2014	1
1	Hidrocantábrico/2008	1
1	Fenosa/2008	1
1	Viesgo/2008	1
1	Iberdrola2014	1
1	Endesa/2014	1
1	Viesgo/2013	1
1	Fenosa/2013	1
1	Viesgo/2009	1
1	Endesa/2010	1
1	Iberdrola2013	1
1	Hidrocantábrico/2010	1
1	Endesa/2013	1
1	Viesgo/2012	1
1	Iberdrola2012	1
1	Iberdrola2011	1
1	Hidrocantábrico/2011	1
1	Endesa/2012	1

A su vez, para analizar los niveles de eficiencia de las empresas distribuidoras eléctricas, se ha definido la siguiente tabla de frecuencia (Tabla 5):

Tabla 5: Tabla de frecuencias de resultados de eficiencia de empresas distribuidoras eléctricas 2006-2015 del modelo DEA CCR orientado al input.

Empresa	Frecuencia Eficiencia	Años de Eficiencia
ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL	7	2006 2007 2010 2012 2013 2014 2015
IBERDROLA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL	7	2006 2007 2011 2012

		2013 2014 2015
HIDROCANTÁBRICO ENERGIA ELÉCTRICA	5	2006 2007 2008 2010 2011
UNIÓN FENOSA	3	2006 2008 2013
EON ESPAÑA (VIESGO DISTRIBUCIÓN)	8	2006 2007 2008 2009 2012 2013 2014 2015

En la Tabla 5 se puede ver que la empresa con mayor nivel de eficiencia es Viesgo Distribución (Eon). Por tanto, se rechaza la segunda hipótesis de trabajo a través de la cual definíamos que una red de distribución más amplia influye positiva y significativamente sobre la eficiencia de cada empresa de distribución de energía eléctrica.

En el caso de Viesgo Distribución (Eon Energía), observamos que su nivel de eficiencia se repite reiteradamente (8 de las 10 DMUs). A su vez, se puede afirmar teniendo en cuenta los resultados obtenidos por la tabla 5 que los factores productivos que generan un mayor peso en su ineficiencia es la potencia generada (MWI) y los gastos de explotación.

El primer inputs (MWI) nos está indicando que el fenómeno de sobrecapacidad productiva en este modelo si afecta a la ineficiencia de esta empresa. Por ejemplo, la ponderación de Viesgo_2006 es de 0,79473453 o del año 2009 es de 0,60251842. Sin embargo, se puede afirmar que consigue con su nivel de output minimizar el impacto de ese fenómeno de sobrecapacidad, porque en 8 de los 10 periodos analizados Viesgo ha sido eficiente. Por ello, podemos afirmar que desde una perspectiva estratégica, Viesgo Distribución vuelve a ser la empresa que mejor gestiona sus recursos. De manera idéntica sucede con la relación gastos de explotación/ingresos de explotación (déficit de tarifa), es decir, los gastos de explotación suponen un inputs relevante para su grado de ineficiencia (por ejemplo, en 2007 tuvo un valor de 0,7085544) aunque afecta en menor medida que la sobrecapacidad productiva.

Una vez más Endesa e Iberdrola son eficientes durante 7 periodos de la muestra a analizar. Esto es debido a que es un sector regulado, donde se necesita una autorización administrativa para realizar la actividad de distribución de energía eléctrica (altas barreras de entradas). Además, otra de las razones por las que se justifica que este tipo de empresas sean más eficientes es el poder de mercado (una amplia cuota de mercado) que ejercen sobre la actividad de distribución.

Observamos en la tabla 8, que a este tipo de empresas, los inputs que están generando un mayor nivel de ineficiencia son de nuevo los relacionados con la sobrecapacidad productiva (por ejemplo, Endesa_2009 con una ponderación de 0,91626413 o Iberdrola_2010 con una ponderación de 0,40101769) y en menor medida, los relacionados con el déficit de tarifa (por ejemplo, la ponderación de los gastos de explotación de Endesa_2006 es de 0,49266128 o de Iberdrola_2013 es de 0,43126074). La sobrecapacidad afecta prácticamente de manera anual en cada una de estas empresas. Sin embargo, el déficit de tarifa a medida que va produciéndose la evolución temporal en los datos, el fenómeno de ineficiencia causado por esta problemática va disipándose. Esta evolución coincide con el gráfico del déficit de tarifa donde se observaba como durante el año 2014 la compensación por el déficit de tarifa había sido positiva.

Las empresas más perjudicadas en relación a su nivel de eficiencia, son las empresas con una cuota de mercado medio, Unión Fenosa Distribución e Hidrocantábrico Distribución (solamente son eficientes durante 3 y 5 años respectivamente). Las razones vuelven a ser similares a lo explicado hasta este momento; el fenómeno de la sobrecapacidad productiva afecta en mayor medida a aquellas empresas que distribuyen en varias zonas geográficas y su cuota de mercado no es tan extensa.

Además, es importante destacar que al igual que sucede con la problemática de la sobrecapacidad productiva, el déficit de tarifa incide en mayor medida en este tipo de empresas. Desde el año 2012, prácticamente este fenómeno está afectando de manera relevante al nivel de ineficiencia de Hidrocantábrico (por ejemplo, Hidrocantábrico_2014 la ponderación es de 0,26507219), mientras que en las demás DMUs a partir del año 2012, este ítem no causa una elevada ineficiencia. Si el déficit de tarifa es elevado, nos indica que los ingresos de explotación que obtienen las DMUs no son eficientes en relación a los gastos derivados de su actividad. Por tanto, ambas organizaciones (principalmente Unión Fenosa) debe replantearse una mejora en su nivel de eficiencia.

Con respecto a la siguiente hipótesis (H1.3), la aprobación de la Ley 17/2007, por la que se modifica la Ley 54/1997 del sector eléctrico, ha influido positiva y significativamente sobre la eficiencia de cada empresa de distribución de energía eléctrica, podemos afirmar que se cumple en la mayoría de las empresas distribuidoras. Como observaremos en la tabla 5, los años más ineficientes han sido 2009, 2010 y 2011, donde la crisis económica tuvo un efecto adverso el poder adquisitivo de los consumidores finales, causando una disminución en la energía eléctrica distribuida (los consumidores vigilaban el control sobre el consumo de energía eléctrica).

Esta Ley ha tenido su efecto positivo a partir de 2012 (cabe recordar que toda Ley necesita un periodo de aplicación para ver sus efectos), ya que lo que pretendía era establecer un nuevo modelo que mejorara los niveles de eficiencia del sector. Para ello, intentó reducir el poder de mercado de las distribuidoras, principalmente a través de un mayor control del precio de venta de las generadoras a las distribuidoras, con el fin de evitar pactos desleales entre las grandes empresas eléctricas.

Este objetivo se ha conseguido, ya que como se observa a través del peso de los outputs (tabla 8), se produce en la mayoría de los casos un trasvase del nivel de eficiencia de los ingresos de explotación a la cantidad de energía vendida, es decir, que el output que está aportando un mayor nivel de eficiencia es la cantidad de energía que se distribuye al consumidor final, no los ingresos de explotación que tienen como empresas distribuidoras.

Sin embargo, en este modelo, también podemos decir que desde la aprobación de las normativas del Real Decreto-Ley 14/2010 y Real Decreto Ley 20/2012, los niveles de eficiencia de las empresas distribuidoras, de manera genérica han ido mejorando. Por tanto, el fenómeno de déficit de tarifa ha afectado principalmente durante los años 2007 a 2012 a los niveles de ineficiencia de las empresas de distribución de energía eléctrica (excepto en Hidrocantábrico, que tiene un comportamiento atípico). Con ello, nos indican que los Reales Decretos aprobados desde 2010 frente a la compensación de pérdidas en el sector, están teniendo un efecto positivo sobre el nivel de eficiencia.

A continuación, se muestran los resultados de las empresas eléctricas distribuidoras españolas ineficientes (Tabla 6) durante el periodo 2006-2015. A su vez, la tabla 7 muestra la frecuencia en nivel de ineficiencia por empresas distribuidoras y la tabla 8 los pesos de tanto de los inputs como de los outputs:

Tabla 6: Ranking de empresas eléctricas distribuidoras ineficientes para el periodo 2006-2015 por el modelo DEA CCR orientado al input.

Rank	DMU	Score
31	Viesgo/2010	0,99528525
32	Fenosa/2007	0,99258528
33	Fenosa/2014	0,97347025
34	Endesa/2011	0,97179728
35	Iberdrola2010	0,96904381
36	Hidrocantábrico/2012	0,95036683
37	Viesgo/2011	0,94949001
38	Hidrocantábrico/2013	0,93462756
39	Fenosa/2010	0,9303515
40	Iberdrola2009	0,91107396
41	Fenosa/2012	0,90973532
42	Hidrocantábrico/2014	0,9075846
43	Endesa/2009	0,89564614
44	Fenosa/2011	0,88402526
45	Endesa/2008	0,88279558
46	Hidrocantábrico/2009	0,87811648
47	Hidrocantábrico/2015	0,87717589
48	Fenosa/2015	0,8753307
49	Fenosa/2009	0,86300304
50	Iberdrola2008	0,85287801

Tabla 7: Tabla de Frecuencia Resultados de Ineficiencias Empresas distribuidoras eléctricas (2006-2015) por el modelo CCR orientado al input.

Empresa	Frecuencia Ineficiencia	Años de Ineficiencia
ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL	3	2008 2009 2011
IBERDROLA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL	3	2008 2009 2010
HIDROCANTABRICO ENERGIA ELÉCTRICA	5	2009 2012 2013 2014 2015
UNIÓN FENOSA	7	2007 2009

		2010 2011 2012 2014 2015
VIESGO DISTRIBUCIÓN	2	2010 2011

Tabla 4.8: Factores determinantes de la eficiencia e ineficiencia de las empresas distribuidoras eléctricas españolas (2006/2015) por el modelo CCR orientado al input.

DMU	Score	VX(1) MWI	VX(2) Nº Ins	VX(3) GASTOS DE EXPLOTACIÓ N	VX(4) RRHH	VX(5) %Cap	VX(6) Tiem Int	UY(1) GW/H	UY(2) € Exp
Endesa/2006	1	0,3683909 7	0	0,49266128	0,1389477 5	0	0	0,3311381 5	0,6688618 5
Iberdrola2006	1	9,15E-02	0	0,45262179	0,4450079 2	0	1,09E-02	0	1
Hidrocantábrico/2006	1	1	0	0	0	0	0	0,8210187 7	0,1789812 3
Fenosa/2006	1	0	0,1256795 6	0	0,5494073 9	0,3249130 5	0	0,7043104 8	0,2956895 2
Viesgo/2006	1	0,7947345 3	0,2052654 7	0	0	0	0	1	0
Endesa/2007	1	0	0,2732763 7	0	0,1137932 3	0,6129304	0	1	0
Iberdrola2007	1	0	0	0	0	1	0	0,5299441 5	0,4700558 5

Hidrocantábrico/2007	1	7,62E-02	4,55E-02	0,87830541	0	0	0	0	1
Fenosa/2007	8	0	3,06E-02	0,54479218	0,3041339	0	0,1205050	0,1252439	0,8673413
Viesgo/2007	1	0	4,75E-02	0,7085544	0,2439810	0	0	4,33E-02	0,9566553
Endesa/2008	8	0,9186556	0	7,54E-02	0	5,96E-03	0	0,7562729	0,1265226
Iberdrola2008	1	0,2594773	0	0,12497007	0	0,6155525	0	0,5677255	0,2851524
Hidrocantábrico/2008	1	0,9890502	0	1,09E-02	0	0	0	0,9457546	5,42E-02
Fenosa/2008	1	0	6,17E-02	0,52836795	0,2976498	2,04E-02	9,19E-02	0,1407046	0,8592954
Viesgo/2008	1	0	0,7507261	0	3,10E-02	0	0,2182988	0,8525779	0,1474220
Endesa/2009	4	0,9162641	0	7,83E-02	0	0,0054128	0	0,7837836	0,1118624
Iberdrola2009	6	0,4028200	0	7,36E-02	0	0,5235552	0	0,7051148	0,2059591
Hidrocantábrico/2009	8	0,3978280	0,1583214	0,35017577	9,37E-02	0	0	0,3354925	0,5426239

Fenosa/2009	0,8630030 4	0,9422716 6	0	4,56E-02	0	1,21E-02	0	0,7741982 7	8,88E-02
Viesgo/2009	1	0,6025184 2	0,3864054 1	0,01107617	0	0	0	1	0
Endesa/2010	1	0,8944029 9	0	7,82E-02	0	2,74E-02	0	1	0
Iberdrola2010	0,9690438 1	0,4010176 9	0	8,16E-02	0	0,4888599 4	2,85E-02	0,7246403 4	0,2444034 7
Hidrocantábrico/2010	1	0,6225517 8	0	0,37744822	0	0	0	0,5135304 5	0,4864695 5
Fenosa/2010	0,9303515	0,9412686 2	0	4,58E-02	0	1,30E-02	0	0,8363407	9,40E-02
Viesgo/2010	0,9952852 5	0,5858161 2	0,4035185	1,07E-02	0	0	0	0,9952852 5	0
Endesa/2011	0,9717972 8	9,61E-02	9,45E-02	0,10536659	0	0,7040528 4	0	0,6743788 7	0,2974184 1
Iberdrola2011	1	8,35E-02	0	0,22189419	0	0,6717214 2	2,29E-02	0,6144163 8	0,3855836 2
Hidrocantábrico/2011	1	0,7397664 6	0	0,26023354	0	0	0	0,4531823 1	0,5468176 9
Fenosa/2011	0,8840252 6	0	0,5129819 9	0,20447503	0	0	0,2825429 8	0,4450696 5	0,4389556

Viesgo/2011	0,9494900 1		0,2631022 2	8,86E-03	0	0,5633573 7	0,1646768 5	0,9494900 1	0
Endesa/2012	1	0,5708872 4	0	0	0	0,3421563 1	0,0869564 6	1	0
Iberdrola2012	1	0	0	0,4744016	0,4318164 3	9,38E-02	0	1	0
Hidrocantábrico/2012	0,9503668 3	0,6467025 9	4,52E-02	0,24831122	0	0	0,0597534 1	0,5002033 3	0,4501635
Fenosa/2012	0,9097353 2	0	0,5396663 8	0,2171032	0	0	0,2432304 2	0,4987424 5	0,4109928 7
Viesgo/2012	1	0	0	0	0,9554185 4	0	4,46E-02	1	0
Endesa/2013	1	0,9899509 5	0	0	0	1,00E-02	0	1	0
Iberdrola2013	1	0	0	0,43126074	0,4042867 9	0,1644524 7	0	1	0
Hidrocantábrico/2013	0,9346275 6	0,6133912 2	4,38E-02	0,25573803	0	0	8,71E-02	0,5112732	0,4233543 6
Fenosa/2013	1	0,8098002 2	0,1139023 4	0	0	0	7,63E-02	1	0
Viesgo/2013	1	1	0	0	0	0	0	1	0

Continuación Tabla 4.8: Factores determinantes de la eficiencia e ineficiencia de las empresas distribuidoras eléctricas españolas (2006/2015) por el modelo CCR orientado al input.

DMU	Score	VX(1) MWI	VX(2) Nº Ins	VX(3) GASTOS DE EXPLOTACIÓ N	VX(4) RRHH	VX(5) %Cap	VX(6) Tiem Int	UY(1) GW/H	UY(2) € Exp
Endesa/2014	1	0	0,1301191 1	0	0	0,8225505 9	4,73E-02	0,9953644	4,64E-03
Iberdrola2014	1	0	3,06E-02	0	0	0,9690890 3	2,97E-04	1	0
Hidrocantábrico/2014	0,9075846	0,6206989 1	4,43E-02	0,26507219	0	0	6,99E-02	0,4860742 8	0,4215103 2
Fenosa/2014	0,9734702 5	0	0,4982306 8	0,21540847	8,57E-02	0	0,2006986	0,5368802 7	0,4365899 9
Viesgo/2014	1	0	0,3462652 3	0	0	0,3879264 1	0,2658083 6	1	0
Endesa/2015	1	0	0,1224629 4	0	0	0,8775370 6	0	0,9268711 2	7,31E-02
Iberdrola2015	1	0	0	0,13283274	0	0,8671672 6	0	1	0
Hidrocantábrico/2015	0,8771758 9	0,6208426 4	4,53E-02	0,24628663	0	0,0107970 3	7,68E-02	0,4549085 6	0,4222673 3
Fenosa/2015	0,8753307	0,9444290 9	0	4,46E-02	0	1,09E-02	0	0,7981077 1	0,0772229 9

Viesgo/2015	1	0	0,1445036 1	9,92E-02	0,1265810 2	0,6296969 4	0	0,8046627 9	0,1953372 1
-------------	---	---	----------------	----------	----------------	----------------	---	----------------	----------------

Una vez más se observa que el problema de sobrecapacidad productiva se acentúa durante la crisis económica (2009-2011), si bien la energía eléctrica se considera un bien de primera necesidad, los consumidores finales han reducido su consumo como consecuencia de la disminución del poder adquisitivo. Esto unido a un incremento de las subvenciones (hasta 2012) por construcciones para la fabricación de energía eléctrica a través de energías renovables, pues ha generado el fenómeno de la sobrecapacidad productiva.

En referencia a la hipótesis H3.1, las subvenciones de energías renovables han influido negativa y significativamente sobre la situación de sobrecapacidad productiva de las distribuidoras eléctricas, podemos afirmar dicha hipótesis según este modelo. Atendiendo a lo explicado anteriormente en la Teoría de las Limitaciones, se observa que ciertamente existen limitaciones políticas que afectan al nivel de eficiencia de las empresas.

En referencia al déficit tarifario, se observa una evolución positiva ya que su mayor influencia negativa sobre los índices de eficiencia de las empresas distribuidoras de energía se produce durante el periodo que comprende entre el año 2007 y 2011. Como se observa, este intervalo temporal coincide con los mayores niveles de ineficiencia de las empresas distribuidoras de energía eléctrica, aceptando la hipótesis (H4.1) que afirmaba que el déficit tarifario afecta negativa y significativamente sobre el nivel de eficiencia de las empresas distribuidoras.

En relación a los recursos humanos, no se considera un factor tan relevante en el análisis ya que tampoco causa una elevada ineficiencia (excepto en casos muy aislados, como por ejemplo, Viesgo_2012 con una ponderación de 0,95541854). En algunos casos, la ineficiencia de los recursos humanos se ha generado debido a que ha existido una disminución de la actividad (como consecuencia de la reducción de distribución de energía eléctrica) y manteniendo un número de empleados prácticamente constante.

En relación al % de capacidad ocupada (% de inputs consumidos), observamos que genera un nivel de ineficiencia elevado durante el último año analizado (2015) debido a que parte de los inputs consumidos en el proceso de distribución del kilovatio no se han transformado en energía vendida (por ejemplo, Endesa_2015 con una ponderación de 0,87753706 o Iberdrola_2015 con una ponderación de 0,86716726). Por lo cual, ha habido ineficiencias en el proceso productivo del kilovatio final.

Por último, analizaremos más detalladamente el output no deseado que lo hemos denominado tiempo de interrupción (Tiemp int), por su relevancia en el modelo de

eficiencia que se ha planteado. A continuación, se muestra la frecuencia (Tabla 9) por la cual el output no deseado, ha afectado al nivel de ineficiencia de las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

Tabla 9: Tabla de frecuencias de Tiempo de interrupción (output no deseado) de empresas distribuidoras eléctricas (2006-2015) por el modelo CCR orientado al input.

Empresa	Frecuencia Ineficiencia	Tiempo de interrupción (output no deseado)
ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL	2	2012 2014
IBERDROLA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA SL	4	2006 2010 2011 2014
HIDRCANTÁBRICO ENERGIA ELÉCTRICA	4	2012 2013 2014 2015
UNIÓN FENOSA	6	2007 2008 2011 2012 2013 2014
EON ESPAÑA (VIESGO DISTRIBUCIÓN)	3	2008 2011 2012

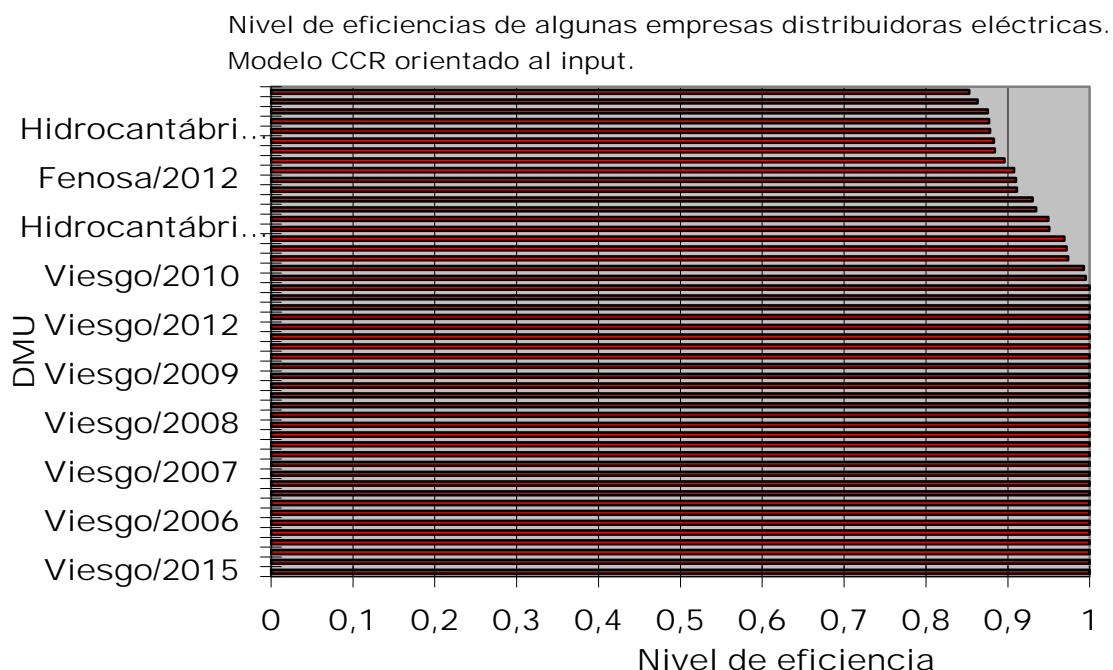
Con respecto al output no deseable “Tiempo de interrupción” indicar que aporta un mayor grado de ineficiencia independientemente del tamaño de la red de distribución, ya que las empresas cuyo nivel de eficiencia se ha visto más afectado negativamente ha sido Unión Fenosa (6 periodos). Por tanto, rechazamos la hipótesis planteada (H.2.1), una red de distribución más amplia afecta negativa y significativamente sobre la calidad de energía eléctrica distribuida, ya que las empresas distribuidoras con una red más amplia (Endesa e Iberdrola) no han sido las más ineficientes según este output no deseado.

Este rechazo de la hipótesis se explica porque una de las principales causas que influyen considerablemente sobre la calidad de la energía eléctrica es la localización de los centros de distribución. En el caso de Unión Fenosa, la relevancia del nivel de ineficiencia debido al tiempo de interrupción se debe a que distribuye en Galicia (y a una

parte de la Comunidad de Madrid) y el territorio Gallego se caracteriza por ser un territorio rocoso y de elevada dificultad para construir infraestructuras adecuadas (como ocurre, por ejemplo con la red ferroviaria).

En conclusión, se muestra un gráfico (Gráfico 4.5), resumen sobre el nivel de eficiencia de algunas DMUs analizadas:

Gráfico 1: Representación gráfica del nivel de eficiencia empresas de distribución de energía eléctrica empleando DEA CCR orientado al input.



5. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un estudio sobre la eficiencia de las principales empresas distribuidoras de energía eléctrica en España (Endesa, Iberdola, Unión Fenosa, EDP y Eon). La técnica utilizada ha sido el Análisis Envoltente de Datos (DEA), orientado al input a escalas constantes (CCR), trabajando con datos de panel.

De acuerdo con nuestros resultados y la teoría de las limitaciones, podemos afirmar que la regulación del estado se convierte en una de las principales causas por la que las empresas eléctricas de distribución tienen sobrecapacidad y déficit de tarifa, y por tanto supone una limitación externa para el desarrollo de la eficiencia. Por lo tanto, a través de este estudio se demuestra empíricamente que las decisiones gubernamentales (restricciones políticas) tienen una influencia significativa en la eficiencia de las empresas reguladas, y concretamente, en las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

Como conclusión a este modelo, podemos afirmar que las empresas distribuidoras de energía eléctrica son eficientes. Sin embargo, podrían mejorar su nivel de eficiencia si se mejoraran el uso de algunos inputs.

La principal causa de esta problemática de la ineficiencia en las empresas distribuidoras del sector es el fenómeno de la sobrecapacidad productiva en la mayoría de las DMUs. Así mismo, se observa que el fenómeno del déficit tarifario también tiene una incidencia negativa sobre el nivel de eficiencia pero en menor medida que el fenómeno de sobrecapacidad productiva. Este análisis nos indica que la retribución actual que reciben las empresas distribuidoras de energía eléctrica le permite mayoritariamente ser eficientes, aunque el nivel de eficiencia sería mayor si la retribución se ajustara a los valores reales.

A su vez, se observa una mejora en los niveles de eficiencia de las empresas a partir de 2012, indicando que las normativas aprobadas para paliar el efecto negativo sobre el problema de la sobrecapacidad productiva y el déficit de tarifa están teniendo efectos positivos sobre el nivel de eficiencia de estas empresas. Como observamos en el capítulo uno, actualmente esta mejora sobre el nivel de eficiencia se observa principalmente en el fenómeno del déficit de tarifa (compensación positiva a las distribuidoras eléctricas en el año 2014). Sin embargo, los datos estadísticos muestran un impacto reducido de las normativas en de la problemática de la sobrecapacidad productiva, aunque hay una leve mejora.

En conclusión, se observa que la regulación vuelve a cumplir un papel esencial en las actividades reguladas, siendo necesario un compromiso por parte del Estado con el fin de mejorar la eficiencia en las actividades reguladas. Este artículo permite conocer los principales problemas a los que se enfrentan las empresas distribuidoras eléctricas, que si se corrigen adecuadamente, podrán permitir estabilizar el precio del kilovatio de los consumidores finales.

6. Referencias

- AECA. (2002). Indicadores para la gestión empresarial. Principios de contabilidad de gestión, documento nº 17, Madrid, 2ª ed.
- Agrell, P.J. and Niknazar, P. (2014). "Structural and behavioral robustness in applied best practice regulation". *Socio Economic-Planning Science*, 48, 89–103.
- Amado, C.A.F., Santos, S.P. and Sequeira, J.F.C. (2013). "Using Data Envelopment Analysis to support the design of process improvement interventions in electricity distribution". *European Journal Operational Research*. 228, 226–235.
- Asociación de Empresas de Energías Renovables (2014). "Estudio del impacto macroeconómico de las energías renovables en España". Holtrop: transaction and business law. Accedido en http://www.appa.es/descargas/ESTUDIO_APPA_14_WEB.pdf
- Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas (2002). "Indicadores para la gestión empresarial". Principios de contabilidad de gestión, documento nº 17, Madrid, 2ª ed.
- Azadeh A., Motevali Haghghi S., Zarrin M. y Khaefi S. (2015). "Electrical Performance evaluation of Iranian electricity distribution units by using stochastic data envelopment analysis". *Power and Energy Systems* 73, 919–931.
- Bi G., Luo Y., Ding J. y Liang L. (2015). "Environmental performance analysis of Chinese industry from a slacks-based perspective". *Annals of Operations Research* May 2015, Volume 228, Issue 1, pp 65–80.
- Blackstone, J.H. (2001). "Theory of constraints: a status report". *International Journal of Production Research*. Vol.39, Nº6, pp. 1053-1080.
- Blázquez Gomez, L.M., Filippini, M. y Heimsch, F. (2013). "Regional impact of changes in disposable income on Spanish electricity demand: A spatial econometric analysis". *Energy Economics*, Volume 40, December 2013, Pages S58-S66.
- Cambini, C., Croce, A. and Fumagalli, E. (2014). "Output-based incentive regulation in electricity distribution: evidence from Italy". *Energy Economy* 45, 205–216.
- Çelen, A. and Talçin, N. (2012). "Performance assessment of Turkish electricity distribution utilities: An application of combined FAHP/TOPSIS/DEA methodology to incorporate quality of service". *Utilities Policies*. Volume 23, pages 59-71.
- Charnes A., Cooper W.W. and Rhodes, E. (1978). "Measuring the efficiency of decision-making units". *European Journal of Operational Research*, pp. 429-444.
- Charnes, A., Clark, Charles, T., Cooper, W.W., Boaz y Golany (1985). A development study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the U.S. Air Forces. In: Rusell, G. and Robert Thrall, G. (Eds.). *Annals of Operations Research*, 2 (1), 95-110.
- Ciaretta A. y Espinosa, M.P. (2012). "The impact of regulation on pricing behavior in the Spanish electricity market (2002-2005)". *Energy economics*, 34 (6), pp. 2039-2045.

Ciaretta A. y Zarraga, A. (2015). "Volatility transmissions in the Spanish Intraday electricity market". International Conference on the European Energy Market, EEM. Volume 2015-August, 20 August 2015, Article number 7216621.

Comisión Nacional del Mercado y la Competencia, 2015. Informe del mercado minorista de electricidad. 8 de octubre del 2015, IS/DE/0002/15. Accessed in http://www.nuevatribuna.es/media/nuevatribuna/files/2015/12/14/151008_is_de_002_15.pdf

Comisión Nacional del Mercado y la Competencia. 2014. Informe de supervisión del mercado minorista de electricidad. Accedido en <https://www.cnmc.es/es-es/energ%C3%ADa/energ%C3%ADael%C3%A9ctrica/mercadominorista.aspx>

Costa-Campi, M.T. y Trujillo-Baute, E. (2016). "Retail price effects of feed-in tariff regulation". Energy Economics, Volume 51, September 01, 2015, Pages 157-165.

Dai, X. and Kuosmanen, T., (2014). "Best-practice benchmarking using clustering methods: application to energy regulation". Omega 42, 179–188.

Davies J., Malbin, V.J., Balderstone, S.J. (2005). "The theory of constraints: a methodology apart?-a comparison with select OR/MS methodologies". Omega: The International Journal of Management Science. Vol. 33, N°6, pp. 506-524.

Dyckhoff, H. and Allen, K. (2001). "Measuring Ecological Efficiency with Data Envelopment Analysis (DEA)". Eur. J. Oper. Res. 132: 312–325.

Eon Energía, (2015). "Sustainability report". Accedido en: <http://www.eon.com/en/sustainability/sustainability-report.html>

Farrell, M.J. (1957). "The measurement of productive efficiency. Journal of the royal Statistical Society". Vol. 120 series A part III, pages. 253-281.

Fry, T.D., Cox, J.F., and Balckstone, J.H. (1992). An analysis and discussion of the optimized production technology software and its use". Production and Operations Management, Vol1, N°2, pp. 229-242.

Gardiner, S.C. and Blackstone J.H. (1994). "The evolution of the theory of constraints". Industrial Management. June, pp. 13-16.

Golany, B. y Roll, Y. (1989). An Application Procedure for DEA. Omega: The International Journal of Management Science 17, pp. 237-250.

Goldratt E.M. (1998). "Critical Chain". North River Press, Great Barrington, MA.

Gouveia, M.C., Dias, L.C., Antunes, C.H., Boucinha, J. and Inácio, C.F., (2015). "Benchmarking of maintenance and outage repair in an electricity distribution company using the value-based DEA method". Omega 53, 104–114.

Gupta, M.C., Boyd, L.H. and Sussman, L. (2004). "To better maps: a TOC primer for strategic planning". Business Horizont. Vol. 47, N°2, pp. 15-26.

Hao Liu C., Lin S. y Lewis C. (2013). "Evaluation of NOx, SOx and CO2 Emissions of Taiwan's Thermal Power Plants by Data Envelopment Analysis". Aerosol and Air Quality Research, 13: 1815–1823.

Hashimoto, A. y Kodoma, M. (1997). Has livability of Japan Gotten better for 1956-1990?: a Dea Approach. Social Indicators Research, Volume 40, Issue 3, pp 359–373.

Holger S. (2001). "Undesirable outputs in efficiency valuations". *European Journal of Operational Research*. Volume 132, Issue 2, pages 400-410.

Iglesias Sánchez, J.L. (2003). "Importancia de la teoría de las limitaciones en la Contabilidad de Gestión". *Revista iberoamericana de contabilidad de gestión*, ISSN 1696-294X, N°4, pp. 207-225.

Kaveh Khalili-Damghani y Zohreh Shahmir. (2015). "Uncertain network data envelopment analysis with undesirable outputs to evaluate the efficiency of electricity power production and distribution processes". *Computers & Industrial Engineering* 88, 31–150.

Kim, S., Mabin, V.J. and Davies, J. 2008. "The theory of constraints thinking processes: retrospect and prospect". *International Journal of Operational & Production Management*. Vol. 28, N°2, pp. 155-184.

Koopmans, T.C. 1951. "An Analysis of Production as an efficient Combination of Activities". T.C. Koopmans, ed. *Activity Analysis of production and allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph 13, New York.

Korhonen, P. y Luptacik, M. 2004. "Eco-Efficiency Analysis of Power Plants: an Extension of Data Envelopment Analysis". *European Journal of Operational Research*. Volume 154, Issue 2, 16 April 2004, Pages 437–446.

Kuo L., Huang S. K. and Wu Y.C.J. (2010). "Operational efficiency integrating the evaluation of environmental investment: the case of Japan". *Management Decision*, Volume: 48 Issue: 10, 2010

Kuosmanen, N., Kuosmanen, T. and Sipiläinen, T. 2013. "Consistent aggregation of generalized sustainable values from the firm level to sectoral, regional or industry levels". *Sustainability* 5, 1568–1576.

Lan, Y. X. y Wang, Y. M. (2011). Measuring Malmquist productivity index: A new approach based on double frontiers data envelopment analysis. *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 54, Issues 11–12, December 2011, Pages 2760–2771.

Leibenstein (1966). "Allocative efficiency vs. X-efficiency". *American Economic Review*, 56, 392–415

Ley 17/2007, de 4 de Julio, por la que se modifica la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, para adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/54/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad.

Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del sector eléctrico en España.

Li K. y Lin B. 2016. Impact of energy conservation policies on the green productivity in China's manufacturing sector: Evidence from a three-stage DEA model. *Applied Energy* Volume 168, 15 April 2016, Pages 351–363.

Mabin, V.J. and Balderstone, S.J. (2003). "The performance of the theory of constraints methodology: analysis and discussion of successful TOC applications". *International Journal of Operations & Production Management*, Vol 23, N°6, pp. 568-595.

Miguéis, V.L., Camanho, A.S., Bjørndal, E., Bjørndal, M. (2012). "Productivity change and innovation in Norwegian electricity distribution companies". *Journal Operation Research Society* 63, 982–990.

Miguel, J.M.S. 2015. "Leadership relations in the Spanish electricity market". *International Conference on the European Energy Market, EEM*. Volume 2015-August, 20 August 2015, Article number 7216705.

Molinós Senante M., Mocholi Arce M. y Sala Garrido R. (2016). "Efficiency Assessment of Water and Sewerage Companies: a Disaggregated Approach". *Accounting for Service Quality Water Resources Management* September 2016, Volume 30, Issue 12, pp 4311–4328.

Moreno, P., Andrade, G.N., Angulo Meza, L. and De Mello, J.C.S. (2015). "Evaluation of Brazilian electricity distributors using a Network DEA model with shared inputs". *IEEE Lat. Am. Trans.* 13, 2209–2216.

Mullarkey, S., Caulfield, B., McCormack, S. and Basu, B., (2015). "A framework for establishing the technical efficiency of Electricity Distribution Counties (EDCs) using Data Envelopment Analysis". *Energy Conversion and Management* 94, 112–123.

Murias Fernández, M.P. 2004. Metodología de aplicación del análisis envolvente de datos; evaluación de la eficiencia técnica e inputs no controlables. El caso de los institutos asturianos. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.

Park, S. y Park, K. (2009). Measurement of multiperiod aggregative efficiency. *European Journal of Operational Research* 193, 567–580.

Periódico ABC, 2013. España tiene 107.615 MW de potencia eléctrica y solo necesita la mitad. Accedido en: <http://www.abc.es/economia/20131021/abci-espana-tiene-potencia-electrica-201310211202.html>

Periódico ABC, 2016. El precio de la energía de los hogares españoles es uno de los más altos de la UE. Accedido en: http://www.abc.es/economia/abci-precio-energia-hogares-espanoles-mas-altos-201611101241_noticia.html

Rahman, S. (1998). "Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications". *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 18, Nº4, pp.336-355.

Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. *Boletín oficial del Estado* núm. 75, de 27 de marzo de 2004, páginas 13217 a 13238 (22 págs.).

Red eléctrica de España, 2015. Informe del sistema eléctrico español en 2014. Accedido en <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/informe-anual/informe-del-sistema-electrico-espanol-2014>.

Roldán Fernández, J. M., Burgos Payán, M., Trigo García, A. L., Díaz García, J.L. and Riquelme Santos J. M. (2014). "Impact of renewable generation in the Spanish Electricity Market". *International Conference on the European Energy Market*, Article number 6861239.

Ronen, B. and Starr, M.K. (1990). "Synchronized manufacturing as in OPT: from practice to theory". *Computer and Industrial Engineering*, Vol.18, N°4, pp. 585-600.

Sánchez Ortiz, J., García Valderrama, T. and Rodríguez Cornejo V. (2016). "Towards a balanced scorecard in regulated companies: A study of the Spanish electricity sector". *The electricity journal*, Volume 29, Issue 9, Pages 36–43.

Spencer, M.S. and Cox, J.F. (1995). "Optimum production technology (OPT) and the theory of constraints (TOC): analysis and genealogy". *International journal of production research*. Vol. 33, N°6, pp.1495-1504.

Stimson, Robert J., Stough, Roger R., Roberts y Brian H. (2006). *Regional Economic Development: Analysis and Planning Strategy*. Springer Science & Business Media, Capitulo 3.5.2: Intertemporal examination of the relative efficiencies of DMUs, ISBN 978-3-540-34829-0.

Wang K. Huang W., Wu J., Liu Y. (2014). "Efficiency measures of the Chinese commercial banking system using an additive two-stage DEA". *Omega*, Volume 44, April 2014, Pages 5–20.

Watson, K.J., Blackstone , J.H. and Gardiner, S.C. (2007). "The evolution of a management philosophy: the theory of constraints". *Journal of operational Management*. Vol. 25, N° 2, pp. 387-402.

Yadav, V.K.; Padhy, N.P. and Gupta, H.O. (2011). "Performance Evaluation and Improvement Directions for an Indian Electric Utility". *Energy Policy* , 39, 7112–7120.

Zanella A., Camanho A. and Dias, T. (2015). "Undesirable outputs and weighting schemes in composite indicators based on data envelopment analysis". *European Journal of Operational Research*, Volume 245, Issue 2, Pages 517–530.

Zhou, P., Poh, K.L. y Ang B.W. (2016). "Data Envelopment Analysis for Measuring Environmental Performance". *International Series in Operations Research & Management Science* Volume 239, pp. 31-49

ANEXO 1: DEFINICIÓN DE VARIABLES DEL MODELO ENFOCADO AL INPUT.

INDICADOR	DEFINICIÓN	MEDIDA	FUENTE
Potencia (MW).	Capacidad máxima que tiene una empresa para distribuir energía.	Se mide en Megavatios (MW).	Comisión Nacional del Mercado y la Competencia.
Número de instalaciones (Nº Ins).	Número de centros de transformación que tiene cada empresa distribuidora, donde se almacena la energía generada.	Número de instalaciones de transformación.	Comisión Nacional del Mercado y la Competencia.
Gastos de explotación (€ GExp)	Gastos que han obtenido las distribuidoras por su actividad.	Se mide en euros (€).	Sistema de Análisis de Balances Ibéricos (SABI).
Número de Empleados (RRHH).	Empleados en cada una de las empresas distribuidoras.	Número de empleados contratados a final de año.	Sistema de Análisis de Balances Ibéricos (SABI).
Capacidad Ocupada (%Cap).	Es el % de los inputs totales recibidos que finalmente son distribuidos al consumidor final.	$\text{Potencia instalada} \times \text{capacidad ocupada (\%)} \times \text{número de horas anual (365} \times 24 \text{ horas)} \times 1000 \text{ (pasar de MW a GW)} = \text{Energía total vendida.}$	Comisión Nacional del Mercado y la Competencia.
Ingresos Explotación Totales (€Exp).	Ingresos que han obtenido las distribuidoras por su actividad.	Los ingresos de explotación de las empresas distribuidoras se clasifican en dos tipos: por un lado los ingresos que obtienen de desarrollar su actividad (entre un 10% y un 20%) y por otro lado, los ingresos que obtienen de la remuneración (entre un 80% y un 90%) de los organismos públicos.	Comisión Nacional del Mercado y la Competencia.
Cantidad de energía vendida a las	Cantidad de energía que finalmente se	Gigavatios por hora (GW/H).	Comisión Nacional del

comercializadoras (GW/H).	venden a las comercializadoras, y que se distribuye al consumidor final.		Mercado y la Competencia.
Tiempo de Interrupción promedio (Tiem Int).	Tiempo de interrupción de la potencia instalada anual medido en horas de cada empresa.	El dato está por Comunidades Autónomas pues cada distribuidora realiza su actividad en una Comunidad. Para ello, se incorpora el tiempo de interrupción a la distribuidora asociada. Aquellas distribuidoras que están presentes en más de una CCAA se divide el tiempo promedio entre el número de CCAA donde se distribuye.	Misterio de Industria Turismo y Comercio.