



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Facultad de Economía y Empresa

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA
GENERACIÓN EÓLICA DE ELECTRICIDAD: UN
ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA DE 46
SOCIEDADES EÓLICAS ESPAÑOLAS.**

Joaquín García Boto

Tutor: Luis Orea Sánchez

Agosto de 2016

Trabajo Fin de Master de Economía: Instrumentos del Análisis Económico

ABSTRACT

This paper analyses the productivity of 46 Spanish companies owners and operators of wind farms belonging to the same corporation, for this purpose a frontier production function is estimated from the accounting data of the companies in the 2012-2015 period. While literature related to productive efficiency (or costs) in energy cluster is very prolix, it is less in power generation and much less in the wind energy sector.

Given the limited existing empirical literature, it is discussed in detail the candidates to be selected variables as inputs or outputs , as well as the functional form chosen to represent the technology in this sector.

To estimate the efficiency once defined the role of technology, parametric (SFA) and nonparametric (DEA) analysis were carried out to estimate the productivity of companies and the results obtained with each specification and functional form used will be compared. Dummy variables will also be used to control weather conditions, regulatory and tax purposes.

Empirical analysis shows that both Cobb Douglas and Translog functions provide similar results, although the latter is better suited to the data. It is also found that the results obtained in determining the efficiency by parametric and nonparametric methods show very similar results and with a high degree of correlation. Differences appear only in the coefficients of some control variables.

It is a contribution to the study of production efficiency in wind power sector. The work opens the door to apply the same methodology to companies from different business groups to compare their performance or companies of the same group operating in other countries to compare their efficiencies and draw conclusions about the optimal locations. Improvements can also arrive for trying functional forms with greater complexity, or include more explanatory variables to get a better representation of the underlying technology.

RESUMEN

Este trabajo analiza la productividad de 46 sociedades españolas explotadoras de parques eólicos y pertenecientes a un mismo grupo empresarial. Con este fin se estudia una función de producción frontera a partir de los datos contables de las sociedades durante el período 2012 a 2015. Si bien la literatura que estudia la eficiencia productiva (o de costes) en el sector energético es muy prolija, lo es menos en el de la generación eléctrica y mucho menos en el sector eólico.

Dada la escasa literatura empírica existente, se discute detalladamente las variables candidatas a ser seleccionadas como outputs o inputs, así como la forma funcional elegida para representar la tecnología en este sector.

Para estimar la eficiencia de las sociedades eólicas se realizaron análisis paramétricos (SFA) y no paramétricos (DEA), y se contrastarán los resultados obtenidos con cada especificación y forma funcional utilizada. También se utilizarán variables dicotómicas para controlar efectos meteorológicos, regulatorios y fiscales.

Del análisis empírico realizado se deduce que tanto una función Cobb Douglas como Translog proporcionan similares resultados, aunque la última se adapta mejor a los datos. Se encuentra asimismo que los resultados obtenidos en la determinación de la eficiencia por métodos paramétricos y no paramétricos arrojan resultados muy similares y con un alto grado de correlación. Solamente aparecen diferencias de resultados dependientes de la forma funcional utilizada, en los coeficientes de algunas variables de control.

Es una aportación al estudio de la eficiencia productiva en el sector eólico. El trabajo abre la puerta a aplicar la misma metodología a sociedades de distintos grupos empresariales, para comparar sus prestaciones, o a sociedades del mismo grupo radicadas en otros países, para comparar sus eficiencias y obtener conclusiones sobre los emplazamientos óptimos. También puede servir como base para intentar formas funcionales con mayor complejidad, o que incluyan más variables explicativas que consigan una mejor representación de la tecnología subyacente.

1. INTRODUCCION

La tecnología de generación eléctrica a partir de energía eólica ha alcanzado unos niveles de madurez y desarrollo en los últimos años que la hacen plenamente equiparable al resto de tecnologías empleadas tradicionalmente con este fin. Comparte con las tecnologías hidroeléctrica y solar, la característica fundamental de emplear una fuente de energía primaria, renovable y no contaminante, especialmente en la emisión de gases de efecto invernadero, una preocupación medioambiental que puede marcar el futuro de la economía mundial (Edenhofer *et al* 2011). Tal preocupación llevó a que esta tecnología recibiera financiación pública que facilitara su despliegue.

En la actualidad, las subastas competitivas utilizadas por los gobiernos para su implantación muestran una tendencia de reducción de costes, (Wigand *et al* 2016), (IRENA 2015) que la hace competitiva con las tecnologías fósiles, si bien su posición relativa depende de las oscilaciones del precio en el mercado de la materia prima utilizada como energía primaria en la generación térmica (carbón, petróleo o gas natural). No obstante, aún persisten una gran cantidad de instalaciones, que siguen obteniendo algún tipo de ayuda o subvención económica para hacer rentable su funcionamiento. En efecto, la rentabilidad económica de una instalación eólica no sólo depende de los ingresos obtenidos por la producción (y venta) de la energía eléctrica generada en comparación con la inversión realizada, sino que también está significativamente afectada por la obtención de subvenciones públicas, así como por otros mecanismos regulatorios.¹

En el presente trabajo se examina en qué medida las diferencias observadas de eficiencia productiva se deben a diferencias en la función de tecnología de las instalaciones, esto es, a diferencias en el grado en el que cada instalación eólica es capaz de producir electricidad dada la inversión realizada en la misma y en sus costes operativos anuales. Puesto que los parques eólicos que se han puesto en marcha en España en las últimas décadas tienen características tecnológicas diferentes y su localización geográfica varía significativamente, es de esperar que existan diferencias tanto en su tecnología como en su eficiencia productiva. En este sentido, un estudio como el que se propone aquí permite comparar no sólo instalaciones situadas en una misma zona económica, con similares condiciones fiscales y regulatorias, enviando señales a las compañías operadoras, para conocer su situación frente a sus competidoras, sino también se podría aplicar a instalaciones situadas en distintas zonas económicas, enviando señales a los gobiernos sobre la necesidad y oportunidad de establecer mecanismos de apoyo, ajustar la presión fiscal sobre esta actividad, y orientar sobre su cuantía.

Es preciso señalar, por otra parte, que se trata de generación limpia de electricidad, esto es, sin emitir CO₂ a la atmósfera. En ese sentido, dada la inversión realizada en tales instalaciones, tal mejora productiva sería equivalente a una mejora de la eficiencia medioambiental.²

En el presente trabajo se propone utilizar el enfoque econométrico de fronteras estocásticas (o SFA, por sus siglas en inglés), en contraposición al enfoque no paramétrico

¹ Subvenciones a la instalación (ESP), Tarifas especiales (FRA,ING) Créditos fiscales (EEUU)

² Faltaría por considerar el impacto medioambiental de la fabricación del acero, hormigón y fibra de vidrio necesarias para la construcción de las turbinas y sus cimentaciones, junto con el transporte y la instalación de los componentes, pero en este caso consideraremos estos costes constantes e iguales para todas las instalaciones.

basado en el denominado análisis envolvente de datos (DEA en inglés) para analizar la eficiencia productiva de 46 sociedades eólicas, radicadas en España, de un único grupo empresarial (EDPR), durante el período 2012-2015. El enfoque paramétrico permite no sólo realizar una comparación razonable entre distintas unidades productivas y cuantificar la eficiencia relativa de cada una de ellas, sino también conocer las principales características tecnológicas de la producción eólica de electricidad; características poco conocidas en la actualidad dado la escasez de trabajos empíricos que han examinado este proceso productivo en la literatura. Se ha escogido utilizar un solo país y un solo grupo empresarial, por varias razones, las principales la disponibilidad de datos, y el conocimiento profundo de las circunstancias que han rodeado la implantación y la operación de las unidades consideradas.

Las unidades productivas de la muestra considerada en el presente trabajo son las sociedades operadoras de los parques, mayoritariamente operadoras de una única instalación productiva, aunque hay casos donde se agrupan dos o más instalaciones en una sociedad. Estas sociedades, para el caso de este grupo empresarial, presentan una serie de características comunes que se resaltan a continuación. En primer lugar, son sociedades sin trabajadores, propietarias de los parques y que los explotan mediante varios contratos de servicios, unos con la matriz (servicios de administración, gestión del mantenimiento, centro de control, etc.) y otros con terceros (representación ante el operador del mercado, mantenimiento predictivo y/o correctivo, vigilancia ambiental, etc.). En segundo lugar, la gestión de todos los parques se hace de forma unificada y homogénea, por lo que no se espera detectar variaciones en la gestión *ex post* de las mismas que influyan en la eficiencia, especialmente en periodos cortos de tiempos como puede ser la ventana de cuatro años considerada. La mayor parte de las decisiones que influyen en la eficiencia son decisiones *ex ante*, esto es, o tomadas con anterioridad al inicio de operaciones, o comprometidas por contratos de larga duración, como pueden ser los de mantenimiento o los alquileres de terrenos, que junto con los impuestos y cánones suponen el grueso de los costes operativos, superando el 75% del total de los mismos.³ En tercer lugar, las decisiones de inversión, se toman conociendo la cantidad y calidad del viento disponible en el parque, mediante su medición con torres meteorológicas instaladas en el emplazamiento, por unos períodos de tiempo que alcanzan varios años y que, correlacionados con estaciones meteorológicas con un largo historial, permiten la predicción de la energía eólica a ser aprovechada con unos niveles de incertidumbre razonablemente estrechos. Estos datos de viento se cruzan con las curvas de producción de cada tipo de turbina, y permiten escoger las más eficientes, o al menos las más rentables, considerando su coste de adquisición e instalación.⁴ También es importante la configuración espacial del parque, esto es la localización exacta de cada turbina en el terreno y su separación de las turbinas contiguas, para evitar efectos de apantallamiento o estela. La distancia al punto de conexión con la red eléctrica nacional, y la necesidad de

³ Otra decisión *ex ante* es la selección de turbinas y emplazamientos, que, junto con las instalaciones necesarias para la conexión a la red eléctrica nacional, suponen la práctica totalidad de la inversión, concentrada en la tramitación y construcción. En el importe de la inversión puede estar incluida la adquisición del proyecto en fase de tramitación.

⁴ Esto no quiere decir que la energía utilizable, computada anualmente, se mantenga constante, al contrario, como ocurre con la hidrología y resto de parámetros meteorológicos, se producen variaciones en el cómputo anual, aunque si son predecibles con exactitud, los valores medios en períodos más largos, como puede ser los 25 años de vida útil estimada de las instalaciones.

incluir instalaciones de conexión y transformación de tensión, implican la necesidad de unas inversiones adicionales que también influirán en la eficiencia del parque. Finalmente es preciso señalar que, aunque todas las sociedades operan en España, las distintas Comunidades Autónomas tienen la potestad de dotarse de cierto tipo de impuestos que afectan de forma diferente en los costes operativos de las sociedades, en función de la Comunidad Autónoma donde están implantados.

Por tanto, no es el objetivo principal de este trabajo el mejorar la eficiencia de las unidades productivas instaladas, sino el conocer las características de las instalaciones ya operativas para mejorar los futuros proyectos, comparándolos de forma consistente y homogénea con los ya realizados. También puede ser utilizado para decidir zonas económicas de implantación preferente de nuevos proyectos.

El período examinado en el presente trabajo (2012-2015) es también un período interesante por varios motivos. Ha sido una época poco estable, desde el punto de vista de la regulación y la fiscalidad, que se ha reflejado en las cuentas de explotación de las sociedades. Así, en 2013 se instauró en España un nuevo impuesto a la generación eléctrica de cualquier clase, correspondiente al 7% de las ventas brutas. Este impuesto está recogido dentro de los gastos operativos de las sociedades y supuso un importante incremento de los mismos a partir de ese año. En 2014 se puso en marcha un nuevo sistema retributivo, en el que los parques anteriores a 2006 veían recortados sus ingresos de forma muy significativa. Este nuevo sistema retributivo no afecta a la producción, puesto que la variable que se altera es el precio, pero desde el punto de vista de los gastos operativos, supone una disminución de los mismos, pues una parte significativa de ellos, son proporcionales a los ingresos, entre ellos el impuesto del 7% y los alquileres de propietarios, que pueden ser un porcentaje de los ingresos, aunque incluyan unos mínimos garantizados.

El trabajo está dividido en varias secciones. A esta introducción le sigue una revisión de la literatura existente, muy prolija en el campo del análisis de la eficiencia en el sector eléctrico y menos en el renovable en particular. A continuación se realiza una descripción la metodología aplicada y se justifica la selección de variables. Para terminar, el trabajo presenta los resultados obtenidos y finaliza con una sección donde se explicitan las principales conclusiones.

2. REVISION DE LA LITERATURA

La mayoría de estudios sobre eficiencia productiva definen la eficiencia como un concepto relativo y parten de la comparación de un conjunto de datos sobre unidades productivas, bien de una unidad a lo largo del tiempo, en forma de serie temporal, de varias unidades en un mismo período de tiempo, en forma de datos de sección cruzada, o en una combinación de las dos utilizando datos de panel. La medida de la eficiencia más comúnmente utilizada se basa en la maximización de un output dados unos inputs, o la minimización de unos inputs, para conseguir unos output determinados. Dicha estrategia metodológica para la medición de la eficiencia productiva se debe a Farrell (1957), que definió un sistema de cuantificación de la eficiencia como la distancia entre el output observado y el que se obtendría en el caso de máxima eficiencia, al que se conoce como frontera. Es curioso constatar que Farrell (1957) ya mencionaba explícitamente el aire como un cuasi-factor, que podía influir en la eficiencia, pero que no tiene coste. Señalaba también la necesidad de considerar una función frontera para definir la tecnología y las implicaciones de considerar rendimientos a escala constantes, crecientes, o decrecientes.

La propuesta de construir la frontera de producción (tecnología) a partir de una función paramétrica, más dos términos aleatorios, independientes entre sí, que recogen por una parte el efecto del ruido estocástico sobre la producción (como la existencia de variables inobservables, errores de medida, o factores fuera del control de la unidad productiva) y, por otra, la eficiencia productiva o de gestión de la unidad productiva proviene de un trabajo de Aigner *et al* (1977). Dicho trabajo seminal es el germen de lo que hoy en día se conoce como enfoque de fronteras estocásticas (SFA por *Stochastic Frontier Analysis*).

Ejemplos de aplicaciones de esta metodología son el trabajo de Battese *et al* (1988) en el que aplica un modelo de datos de panel para un conjunto de ganaderos australianos. El mismo autor analiza en Battese *et al* (1995) la eficiencia de granjas de arroz en la India y posteriormente, Battese *et al* (1997), la eficiencia de granjas de trigo en Pakistan, utilizando como formas funcionales una Cobb Douglas y una Translog, y compara los resultados obtenidos. Asimismo, Orea y Kumbhakar (2004) realiza un estudio de la eficiencia de bancos y cajas de ahorros españolas aplicando un modelo de clases latentes con fronteras estocásticas que permite separar la muestras en varios grupos, atendiendo a potenciales diferencias en la tecnología.

Otra metodología, pero en este caso de carácter no paramétrico, conocida como DEA (*Data Envelopment Analysis*) ha tenido un amplio desarrollo desde que se propuso inicialmente por Charnes *et al* (1978). Dichos autores proponen la definición de la frontera como un problema de programación lineal en la que las variables de salida son una combinación ponderada de los valores de entrada, con la restricción de que los pesos de cada variable de entrada, no pueden hacer que la eficiencia de las unidades productivas (denominadas DMUs en esta literatura) superen el valor unitario.

Una recopilación de la literatura sobre el análisis de la eficiencia con fronteras paramétricas y no paramétricas se puede encontrar en Fried *et al* (2008) y Coelli *et al*. (2005). Una revisión de estos métodos, aplicada a la comparación entre firmas, y con ejemplos prácticos realizados utilizando el software estadístico R, se puede encontrar también en el libro de Bogetoft y Otto (2010).

Ambas metodologías han sido profusamente empleadas para analizar la eficiencia productiva del sector eléctrico, especialmente en el de transporte y distribución, como soporte para las actuaciones regulatorias de los países sobre estos monopolios naturales. Pahwa *et al* (2003) en EEUU, Meenakumari *et al* (2008) en la India, son buenos ejemplos de utilización de estas técnicas.

En el área de generación eléctrica también se pueden destacar un buen número de publicaciones que estudian la eficiencia, como son los siguientes trabajos que utilizan el enfoque DEA. Shafali *et al* (2010) analiza la eficiencia de 30 centrales de titularidad pública en la India durante el período 2006-2007, considerando como output la energía generada, y como inputs, la potencia nominal, los consumos auxiliares y las pérdidas de energía. Dedoussis *et al* (2010) estudian las prestaciones de 20 centrales hidroeléctricas en Grecia, utilizando como output combinaciones de energía generada y disponibilidad, prevista e imprevista, y como inputs la potencia nominal, la fecha de instalación y las horas de funcionamiento anual. Golani *et al* (1994) estudian 21 centrales de generación térmica en Israel, utilizando datos desde 1981 a 1987, y considerando como outputs la energía generada, disponibilidad, desviación sobre parámetros operacionales y emisión de SO₂, y como inputs, potencia nominal, fuerza laboral y consumo de combustible.

Barros *et al* (2008) estudia la eficiencia de las centrales termoeléctricas de Portugal pertenecientes al mismo grupo empresarial que las estudiadas en este trabajo, utilizando un método de dos etapas, un DEA para calcular las ineficiencias y una regresión sobre los valores de las ineficiencias para explicar sus causas, son 7 centrales, durante el período 1996-2004 y utiliza como output la energía generada y la potencia nominal, y como inputs el número de trabajadores, el valor en libros de los activos y los costes operacionales.

Utilizando el enfoque SFA, se pueden destacar los siguientes estudios. Un trabajo de Heshmati (2012) analizando la eficiencia de 28 centrales de generación surcoreanas de diferentes tecnologías, en el período 2002-2008, utilizando el enfoque SFA discriminada por tecnologías de generación (meta fronteras) y considerando como outputs la energía generada y como inputs el Capital (inversión) la fuerza laboral y el consumo de combustible. Este autor utiliza también variables dicotómicas para controlar el efecto de cambios regulatorios en el período temporal considerado. Barros (2007) analiza la eficiencia de las centrales hidroeléctricas en Portugal, también pertenecientes al mismo grupo empresarial. En este caso utiliza SFA aplicado a los costes, usando como especificación funcional una Translog, lo hace sobre 25 centrales en el período 1994-2004 y considera también tendencia temporal y variables dicotómicas para conocer el efecto de la regulación y la competencia. Park *et al* (2000) estudian la eficiencia de 64 plantas de generación convencional con datos de 1990 y aplica metodología DEA y SFA, y las compara entre sí.

Solamente a partir de 2010 se encuentran estudios en el campo de la generación eólica que analicen su eficiencia productiva utilizando alguna de las metodologías mencionadas.⁵ Así, únicamente se pueden mencionar a Ederer (2015), que aplica la metodología DEA para evaluar el coste de capital de 22 parques marinos, considerando

⁵ Existen también unos estudios previos sobre eficiencia de Krokoszinski (2003) y Junginger *et al* (2005) basados más en conceptos ingenieriles que económicos.

la distancia a la costa, profundidad del fondo y potencia nominal. Utilizando también la metodología DEA, Vaz *et al* (2015) realiza un estudio para las plantas de generación eólica portuguesas en los años 2010 y 2011. En cuanto a España, Iribarren *et al* (2013) analizan usando DEA la eficiencia medioambiental de 25 plantas eólicas en el sur de España. En este caso, el output es la energía generada, pero los inputs son el acero, hormigón y otras materias primas necesarias para la instalación y operación del parque.⁶ Finalmente Iglesias *et al* (2010) realizan un estudio comparativo de 57 plantas en Galicia, utilizando SFA y DEA, con datos de 2001 a 2004 y considerando como output la energía generada y como inputs el capital (inversión), trabajo (fuerza laboral) y como combustible, la estimación de viento en cada zona.

Finalmente, no quisiera olvidar un libro introductorio, nacido en el seno de nuestra Universidad, muy útil para los que nos iniciamos en estas tareas, cuya lectura recomendaría a todo estudiante que tenga que realizar su primer trabajo empírico sobre eficiencia y productividad, Alvarez *et al* (2003).

⁶ Estos autores también utilizan el enfoque LCA (Life Cycle Assessment). En este enfoque se consideran los costes ambientales de la fabricación construcción, operación y desmantelamiento de las instalaciones, lo que sería el ciclo de vida completo de las mismas.

3. MODELO EMPÍRICO

3.1. Especificación econométrica

El análisis de la eficiencia productiva de las 46 instalaciones eólicas que componen la muestra de datos se realiza utilizando el enfoque econométrico (paramétrico) de fronteras estocásticas. Como ya se mencionó anteriormente, este enfoque permite no sólo cuantificar la eficiencia relativa de cada instalación eólica, sino también conocer las principales características tecnológicas de la producción eólica de electricidad. El enfoque propuesto parece además oportuno dado el carácter estocástico de la producción eólica.

Dada la práctica ausencia de literatura empírica precedente, el modelo que se propone estimar en este trabajo fin de máster es muy sencillo. En futuras versiones del trabajo se pretende abordar modelos más sofisticados que permitan capturar diferencias inobservables en la tecnología, así como en el entorno en el que operan dichas instalaciones. El modelo básico a estimar se puede escribir de forma genérica como sigue:

$$\ln Y_{it} = f(X_{it}, \beta) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Donde Y_{it} es la producción eléctrica de la instalación i -ésima durante el año t , X_{it} es un vector que incluye todos los factores productivos (inputs) utilizados por la empresa y otro tipo de variables (tecnológicas, ambientales, temporales, etc.) que determinan de una forma u otra el nivel de producción, β es el vector de coeficientes de la función de producción frontera, y ε_{it} es un término de error que se puede descomponer en dos partes, una correspondiente al ruido estadístico (v_{it}) y otra a la ineficiencia productiva de la instalación (u_{it}):

$$\varepsilon_{it} = v_{it} - u_{it} \quad (2)$$

Mientras que v_{it} sigue una distribución normal con media cero y desviación típica σ_v , u_{it} es una variable aleatoria no-negativa. En concreto, y siguiendo a Aigner *et al* (1977), se asume que u_{it} sigue una distribución seminormal, esto es, $u_{it} \sim N^+(0, \sigma_u)$, y que el término de error ε_{it} , con $E(\varepsilon_{it}) = E(-u_{it}) = -\sqrt{\frac{2}{\pi}}\sigma_u$, y varianza $\sigma_\varepsilon^2 = \left(\frac{\pi-2}{\pi}\right)\sigma_u^2 + \sigma_v^2$ ya no sigue una $N(0, \sigma^2)$, no podremos seguir utilizando mínimos cuadrados ordinarios y tendremos que realizar la estimación de los parámetros por el método de máxima verosimilitud.

En Jondrow *et al* (1982) se justifica que, bajo estas hipótesis, la Esperanza condicional de $u_{it} \setminus \varepsilon_{it}$ será:

$$E(u_{it} \setminus \varepsilon_{it}) = \frac{\sigma\lambda}{(1+\lambda^2)} \left[\frac{\varphi(\varepsilon_{it}\lambda/\sigma)}{1-\Phi(\varepsilon_{it}\lambda/\sigma)} - (\varepsilon_{it}\lambda/\sigma) \right] \quad (3)$$

En la que $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ y $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$, mientras que φ es la función de densidad normal y Φ es la función de distribución acumulada de la misma normal.

Para el cálculo de los valores de σ^2 , σ_u^2 , σ_v^2 y λ utilizaremos el paquete “Benchmarking” Bogetoft *et al* (2015), dentro del software estadístico R. Una vez estimado el modelo, se utilizará la esperanza condicionada $E(u_{it}/\varepsilon_{it})$ para obtener estimaciones puntuales de u_{it} . El índice de eficiencia productiva de cada instalación eólica se obtiene simplemente como sigue: $ET_{it}=e^{-u_{it}}$. Puesto que en una forma funcional logarítmica, el valor de $\Theta=e^{-u_{it}}$ es directamente un valor de ineficiencia $0 < \Theta < 1$, que se corresponde con la ineficiencia en sentido Shephard (1957) $ET=(Y_{observada}/Y_{máxima})$

$$\ln(Y_{rit}/Y_{mit}) = \ln(Y_{rit}) - \ln(Y_{mit}) = f(x_{it}, \beta) + v_{it} - u_{it} - f(x_{it}, \beta) - v_{it} = -u_{it}$$

$$ET = Y_{rit}/Y_{mit} = e^{-u_{it}}$$

(4)

3.2. Muestra y variables.

Las unidades productivas de la muestra considerada en el presente trabajo son las 46 sociedades españolas, operadoras de los parques eólicos de EDPR, observadas durante el período 2012-2015.

La primera decisión a tomar en la componente empírica del trabajo es la selección de las variables relevantes en la estimación de la función de producción de la ecuación (1). Como output se utiliza la producción eléctrica anual, expresada en MWh, que aparece en la memoria de los estados financieros anuales. Esta decisión se ve contrastada en la revisión de la literatura, donde se aprecia que es una de las principales variables que se estudian en una gran mayoría de los trabajos sobre unidades de generación eléctrica.

Como variables explicativas, las más tradicionales en generación eléctrica son el capital empleado, la fuerza laboral y el combustible. En nuestro caso particular, el capital empleado, en forma de valor de adquisición o valor bruto de los activos materiales, será la primera variable a considerar, variable que además no cambiará significativamente en cada DMU a lo largo del período, pues la gran mayoría de los parques llevaba ya operando unos cuantos años antes de 2012, año del que se utiliza el primer grupo de datos.⁷ La información se obtendrá de los estados financieros de las empresas, pues es una información obligada a cumplir los principios contables, normas de valoración e imagen fiel del patrimonio de la empresa y su desempeño.

La tradicional variable de trabajo, no puede ser utilizada en este caso, pues, como ya hemos mencionado en la introducción, las sociedades no disponen de fuerza laboral específica, sino que los trabajos se realizan por medio de contratos de servicios, bien de la matriz o de terceras partes. En su lugar utilizaremos los costes operativos anuales, compuestos de la contratación de servicios exteriores, cánones, tasas y alquileres.

Los impuestos diferentes del valor añadido y sociedades, se mantienen en los costes operativos, para considerar estas externalidades y poder diferenciar la eficiencia

⁷ De hecho, se utiliza el valor expresado en los estados financieros del año 2014 (Activo material bruto) para todas las sociedades.

de los parques, en función de la fiscalidad vigente en cada comunidad autónoma. También se mantiene el impuesto del 7% sobre la producción para conocer el efecto sobre la eficiencia, a partir del año de su aplicación.

Otra variable que se incluye tradicionalmente en estos estudios es la potencia máxima que puede suministrar la instalación, expresada en MW. Diferentes autores la consideran una variable de salida y otros de entrada. En nuestro caso, en que la potencia máxima del parque es una decisión *ex ante*, unido a que hemos fijado el criterio de trabajar con una única variable de salida, que ya ha sido fijada, y es la Producción, la consideraremos una variable de entrada. Este dato aparece también en las memorias de los Estados financieros de las sociedades vehículo.

En definitiva, las variables explicativas de carácter continuo (*inputs*) con las que se intentará estimar el modelo, serán: Inversión, Costes operativos y Potencia máxima de diseño. En la siguiente tabla se resumen los principales valores estadísticos de las variables consideradas.

Tabla 1
Valores estadísticos de las variables consideradas

	Producción (PRO)	Inversión (INV)	Costes Operativos (OPE)	Potencia (POT)	Número de DMU
Mediana	89.770	45.390.000	1.848.000	36,00	181
Media	121.300	63.810.000	2.573.000	50,16	181
Desv. Estand.	90.428	49.599.487	1.980.986	39,49	181
Mínimo	1.996	751.200	31.160	0,75	181
Máximo	431.500	224.000.000	9.249.000	162,12	181
Medias anuales					
2012	115.706	63.245.545	2.040.000	50,19	44
2013	130.100	63.888.320	2.912.881	50,14	46
2014	123.334	63.888.320	2.566.431	50,14	46
2105	115.720	64.198.521	2.751.743	50,16	45

Complementaremos estas variables con dos juegos de variables dicotómicas. Un primer juego para discriminar el año al que corresponden los datos (DUM12, DUM13 y DUM14), y otro que separe las sociedades por Comunidad Autónoma (DUMAST=Asturias; DUMCAT=Cataluña; DUMARA=Aragón; DUMCLM=Castilla La Mancha; DUMGAL=Galicia y DUMAND=Andalucía). Para solucionar la colinealidad exacta evitaremos utilizar la variable DUMCYL=Castilla y León, que actuará como comunidad de referencia para las demás. Por supuesto se evaluará y calculará el nivel de significación de estas variables en las distintas funciones de tecnología y especificaciones que serán propuestas.

Las variables que discriminan el año, servirán para aislar dos efectos, por una parte la variabilidad de la meteorología en base anual, y por otra los cambios regulatorios que influyen en los costes operativos. Las que discriminan por Comunidad Autónoma,

nos permitirán conocer el efecto de las distintas fiscalidades sobre los costes operativos y la inversión, junto con la mayor o menor disponibilidad del recurso eólico en cada Comunidad.

3.3. Definición de la forma funcional representativa de la tecnología de Producción.

Una vez seleccionadas las variables, para las metodologías paramétricas, es necesario definir una función de tecnología que explique razonablemente los datos utilizados. La mayor parte de autores recomiendan el utilizar las funciones más sencillas que expliquen aceptablemente los datos. Debemos gestionar un compromiso entre sencillez de la función y restricciones impuestas.

En este trabajo, y siguiendo la mayor parte de la literatura empírica, se utilizarán dos funciones alternativas. La función lineal en logaritmos Cobb-Douglas, (en adelante CD) muy útil pues permite de forma muy sencilla calcular las elasticidades del output respecto a los distintos inputs y el tipo de rendimientos a escala de la función (decrecientes, constantes o crecientes) sumando simplemente el coeficiente de todos los inputs. La función CD en nuestro caso tendrá la forma siguiente, para el caso de la observación i-esima:

$$\text{Ln}(\text{PRO}_i) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{INV}_i) + \beta_2 \text{Ln}(\text{OPE}_i) + \beta_3 \text{Ln}(\text{POT}_i) \quad (5)$$

Con esta función, y estudiando el valor de $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3$, sabremos el tipo de rendimientos a escala que muestra.

Finalmente aplicaremos una función Translog, (a partir de ahora TL) que implica menores restricciones que la CD y se puede interpretar como una aproximación de segundo orden (en la media de los datos) a la verdadera función de producción subyacente. Como la Translog es más precisa en las inmediaciones del punto de ajuste de la curva, transformaremos las variables dividiéndolas por su media geométrica, $(\text{NX} = \text{X}/\text{G}_x)$ (6) por lo que los coeficientes de primer orden se pueden interpretar como elasticidades evaluadas en la media, a esta especificación la llamaremos TL, que en nuestra aplicación tendrá la forma siguiente

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{NPRO}_i) = & \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{NINV}_i) + \beta_2 \text{Ln}(\text{NOPE}_i) + \beta_3 \text{Ln}(\text{NPOT}_i) + \beta_4 (\text{Ln}(\text{NINV}_i))^2 + \\ & \beta_5 (\text{Ln}(\text{NOPE}_i))^2 + \beta_6 (\text{Ln}(\text{NPOT}_i))^2 + \beta_7 \text{Ln}(\text{NINV}_i) \text{Ln}(\text{NOPE}_i) + \beta_8 \text{Ln}(\text{NOPE}_i) \text{Ln}(\text{NPOT}_i) + \\ & \beta_9 \text{Ln}(\text{NINV}_i) \text{Ln}(\text{NPOT}_i) \end{aligned} \quad (7)$$

3.4. Contrastes de Hipótesis

Los primeros contrastes servirán para validar las formas funcionales a emplear, realizándose contrastes básicos de significatividad de cada variable ($H_0: \beta_i = 0$ $H_1: \beta_i \neq 0$), mediante el estadístico t, que aparecerá en todas las tablas de resultados, a continuación de cada coeficiente estimado. También se realizará el contraste de significatividad conjunta de todos los coeficientes de cada forma funcional ($H_0: \beta_i = \beta_j = \beta_n = \dots = 0$ $H_1: \text{al menos un } \beta \neq 0$).

Con la forma funcional CD podemos inferir el tipo de rendimientos a escala, transformando la función en su equivalente:

$$\ln(\text{PRO}/\text{POT}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{INV}/\text{POT}) + \beta_2 \ln(\text{OPE}/\text{POT}) + \alpha \ln(\text{POT}) \quad (8)$$

Donde $\alpha = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - 1$ (9). Los contrastes relativos a las economías de escala serán los siguientes:

A.- Rendimientos a escala constantes (H0: $\alpha = 0$ H1: $\alpha \neq 0$).

El estadístico de contraste será $t = \frac{\alpha - 0}{\sigma_\alpha}$ la distribución t de Student se evaluará a dos colas $\Pr(|t| \geq |t|)$

B.- Rendimientos a escala decrecientes (H0: $\alpha \leq 0$ H1: $\alpha > 0$). Seguimos trabajando con la misma forma funcional del caso y el mismo estadístico de contraste del caso A, pero ahora la t de Student se evaluará a una cola $\Pr(t > t^*)$.

C.- Rendimientos a escala crecientes (H0: $\alpha \geq 0$ H1: $\alpha < 0$). Al igual que en el caso B, Seguimos trabajando con la misma forma funcional del caso A, y el mismo estadístico de contraste, pero ahora la t de Student se evaluará a una cola $\Pr(t \leq t^*)$.

Los valores de β_1 , β_2 y β_3 , en una CD, son también las elasticidades del output respecto del correspondiente input. Como en esta forma funcional, las elasticidades se mantienen constantes, los coeficientes β nos darán directamente las elasticidades de sustitución de la Producción, para cada una de las variables de entrada.

3.5 Comparación con una metodología paramétrica de estimación de la eficiencia.

Finalmente se calcularán las ineficiencias utilizando la metodología no paramétrica DEA, ya mencionada en la segunda sección, y se compararán con las obtenidas utilizando SFA bajo las dos formas funcionales, CD y TL. Con este fin se calcularán las matrices de correlación, tanto de los valores obtenidos, como de la posición que ocupa cada DMU en una lista ordenada por el valor de sus eficiencias.

Para buscar la mayor similitud entre ambas tecnologías, paramétrica y no paramétrica, se utilizarán las mismas variables explicada y explicativas, se calculará un DEA, orientado a la salida y con rendimientos a escala similares a los que defina el contraste de hipótesis del punto 3.4

4. RESULTADOS

4.1. Modelos Básicos

En la **Tabla 2** se muestran los parámetros estimados de las funciones CD y TL usando un estimador por mínimos cuadrados ordinarios. En el caso de la función CD, cabe destacar que todos los coeficientes son individual y conjuntamente significativos. Los valores y signos de los coeficientes estimados tienen sentido económico, como son rendimientos a escala ligeramente decrecientes. Similares comentarios se pueden realizar respecto a la función TL. En este caso la especificación TL, no sólo presenta un R^2 más elevado (como era de esperar al incluir más variables que en la CD), sino también una significatividad conjunta de todos sus parámetros. Lo cual significa que proporciona un mejor ajuste a los datos que la función CD. El inconveniente de la TL son la significatividad del intercepto, y los coeficientes de los cuadrados del logaritmo de la inversión (CINVNOR) y los gastos operativos (COPENOR). La probabilidad de error en el rechazo supera el 10% pero no el 35% para el caso del intercepto y el 27% en el caso de los coeficientes

Tabla 2

Resultados de las regresiones por MCO para las formas funcionales

Cobb Douglas			Translog		
Coefficientes	Valor	Estad. - t	Coefficientes	Valor	Estad. - t
Intercepto	1,890	1,936	Intercepto	0,019	0,948
LINV	0,321	5,634	LINVNOR	0,408	5,140
LOPE	0,149	2,968	LOPENOR	0,194	3,465
LPOT	0,470	6,351	LPOTNOR	0,335	3,480
			CINVNOR	-0,402	-1,120
			COPENOR	-0,195	-1,573
			CPOTNOR	-0,983	-3,038
			MOPEINVNOR	-0,645	-3,499
			MOPEPOTNOR	0,997	2,877
			MINVPOTNOR	1,242	1,866
R Cuadrado	0,9675			0,9703	
Estad . - F	1.758	GL (3,177)		620,8	GL (9,171)

Aunque la función TL se ajusta mejor a los datos, a lo largo del presente trabajo se van a presentar los resultados de ambas especificaciones (CD y TL) para conocer la trascendencia de usar una u otra función y comparar las discrepancias en los resultados. Como se verá más adelante los resultados son muy similares, y su correlación, tanto en valores absolutos de su eficiencia de cada DMU, como en la posición que les corresponde en una secuencia ordenada, es también muy alta.

Con la función tipo Cobb Douglas, podemos inferir una serie de comportamientos económicos, como son el tipo de rendimientos de escala, decrecientes, constantes o

crecientes, en la **Tabla 3** se muestran los contrastes de hipótesis descritos en el apartado 3.4., realizados con la función CD.

Tabla 3
Contraste de hipótesis sobre rendimientos a escala
Forma funcional Cobb Douglas

Transformada Ecuación (9)		
Coeficientes	Valor	Estad. - t
Intercepto	1,890	1,936
Ln (INV/POT)	0,321	5,634
Ln(OPE/POT)	0,149	2,968
Ln(POT) "α"	-0,059	-4,275
Caso	Evaluación	-4,275
A.- R.E. ctes	$\Pr(t^* \geq t)$	3,12E-05
B.- R.E. Decrec.	$\Pr(t^* > t)$	0,99998
c.-R.E. Crec.	$\Pr(t^* \leq t)$	1,56E-05

Al rechazar las hipótesis de rendimientos a escala constantes y crecientes, concluimos entonces que los rendimientos a escala que muestra la forma funcional CD para el juego de datos utilizado son RENDIMIENOS A ESCALA DECRECIENTES.

Los valores de β_1 , β_2 y β_3 , en una forma funcional Cobb Douglas, son también las elasticidades del output respecto del correspondiente input. Como en esta forma funcional, las elasticidades se mantienen constantes, podemos simplificar diciendo que para incrementar la producción un 1%, es necesario incrementar la inversión un 3,11%, o los costes operativos un 6,71%, o la potencia un 2,13%.

4.2. Modelos Frontera

En la **Tabla 4** se muestran los parámetros estimados de las funciones CD y TL usando un modelo de fronteras estocásticas. Vemos que en la forma funcional CD la significatividad del intercepto baja ligeramente del 90% mientras que todas las demás se mantienen en valores superiores, En el caso de la TL, los problemas de significatividad son en las mismas variables que cuando hacíamos la regresión por MCO. En ambos modelos el parámetro α es estadísticamente significativo

Tabla 4
Resultados del cálculo de los parámetros SFA por máxima verosimilitud

Cobb Douglas			Translog		
Coefficientes	Valor	Estad. - t	Coefficientes	Valor	Estad. - t
Intercepto	1,544	1,558	Intercepto	0,168	4,582
LINV	0,336	5,591	LINVNOR	0,405	5,347
LOPE	0,175	3,088	LOPENOR	0,210	3,867
LPOT	0,439	5,860	LPOTNOR	0,333	3,653
			CINVNOR	-0,339	-1,042
			COPENOR	-0,125	-0,899
			CPOTNOR	-0,749	-2,358
			MOPEINVNOR	-0,546	-2,775
			MOPEPOTNOR	0,767	1,929
			MINVPOTNOR	1,006	1,692
$\hat{\lambda} = \sigma_u / \sigma_v$	1,813	3,185		1,786	2,292
σ^2	0,055			0,051	
σ_u^2	0,042			0,039	
σ_v^2	0,013			0,012	
Log verosim.	68,613			75,246	

4.3. Inclusión de variables de control

Podemos mejorar el modelo añadiendo variables de control que aislen algunas externalidades. Como ya hemos visto en la introducción, en el período 2012 a 2015 se han producido cambios muy significativos en la fiscalidad y en la retribución regulada, que tiene una influencia muy significativa sobre los gastos operativos. Además la intensidad del viento varía de un año a otro, no con el mismo valor en todos los parques, pero si con una cierta relación. Para controlar estos dos efectos, utilizaremos variables dicotómicas, que aislen cada uno de los años de donde se disponen datos. También incluiremos unas variables que separen las sociedades en las comunidades autónomas donde radican, para ver el efecto de las distintas fiscalidades, relacionada con la disponibilidad de recurso en cada una. En las **Tablas 5 y 6** se muestran los parámetros estimados de los modelos SFA ampliados con las variables anteriores.

Tabla 5
Resultado del cálculo por SFA añadiendo variables dicotómicas que segregan por año

Cobb Douglas			Translog		
Coefficientes	Valor	Estad. - t	Coefficientes	Valor	Estad. - t
Intercepto	1,699	1,705	Intercepto	0,104	2,653
LINV	0,335	5,888	LINVNOR	0,393	5,368
LOPE	0,157	2,652	LOPENOR	0,223	3,207
LPOT	0,455	5,971	LPOTNOR	0,335	3,613
			CINVNOR	-0,284	-0,887
			COPENOR	-0,115	-0,903
			CPOTNOR	-0,729	-2,435
			MOPEINVNOR	-0,564	-3,127
			MOPEPOTNOR	0,782	2,167
			MINVPOTNOR	0,925	1,581
DUM12	0,066	1,521		0,083	2,139
DUM13	0,102	2,437		0,096	2,924
DUM14	0,057	1,412		0,062	1,891
$\hat{\lambda} = \sigma_u / \sigma_v$	1,662	2,984		1,870	2,405
σ^2	0,050			0,049	
σ_u^2	0,037			0,038	
σ_v^2	0,013			0,011	
Log verosim.	73,191			80,210	

El efecto de los años combina dos externalidades, por un lado la cantidad de viento aprovechable, que se refleja en la producción anual, y por otro los cambios en la fiscalidad, que se reflejan en los costes operativos. En efecto, si analizamos las medias anuales de ambas variables, que aparecen reflejadas en la **Tabla 1**, se aprecia un incremento de la producción, debida a las condiciones meteorológicas, en el año 2103 donde alcanza el máximo, luego el 2014 y los dos extremos 2012 y 2015 que son los de menor recurso eólico y muy similar entre sí. En cuanto a los costes operativos, el impuesto del 7% los ha hecho incrementarse en casi un 50% en el 2013, para observar una reducción en 2014, que no se sostiene en 2015 a pesar de una menor producción.

El efecto combinado de ambos factores hace que el mejor año desde el punto de vista de la eficiencia productiva sea 2013, en el segundo hay discrepancias según la forma funcional a considerar (2014 en TL y 2012 en CD), siendo 2015 el peor en cualquiera de los casos. En el caso de la especificación TL, el año 2012 mejora sus prestaciones,

alejándose del 2014 y acercándose a 2013, lo que indica una mayor relevancia de los costes operativos en la determinación de la eficiencia.

En la **Tabla 6** se añaden al modelo anterior las variables regionales. En este caso el parámetro lambda y el intercepto pierden significatividad y la importancia de la ineficiencia en el error compuesto es tan elevada que hace desaparecer casi por completo el ruido estadístico. A pesar de este efecto, con ambas formas funcionales obtenemos el mismo orden de prelación de comunidad más eficiente a menos, a saber: Galicia, Aragón, Cataluña, Castilla la Mancha, Castilla y León, Asturias y Andalucía.

Tabla 6

Resultado del cálculo por SFA añadiendo variables dicotómicas que segregan por año y por comunidad autónoma

Cobb Douglas			Translog		
Coeficientes	Valor	Estad. - t	Coeficientes	Valor	Estad. - t
Intercepto	1,398	1,790	Intercepto	0,038	0,486
LINV	0,315	8,018	LINVNOR	0,396	6,894
LOPE	0,191	9,508	LOPENOR	0,247	2,089
LPOT	0,494	9,389	LPOTNOR	0,357	3,018
			CINVNOR	-0,327	-1,390
			COPENOR	-0,122	-1,644
			CPOTNOR	-0,748	-3,389
			MOPEINVNOR	-0,426	-3,387
			MOPEPOTNOR	0,666	2,997
			MINVPOTNOR	0,970	2,238
DUM12	0,035	2,929		0,080	2,699
DUM13	0,051	2,470		0,071	1,409
DUM14	0,009	0,498		0,054	1,351
DUMAST	-0,081	-3,405		-0,052	-1,139
DUMARA	0,180	9,461		0,195	4,289
DUMAND	-0,137	-5,995		-0,108	-1,780
DUMCLM	0,149	7,933		0,103	2,478
DUMGAL	0,182	12,899		0,229	3,705
DUMCAT	0,179	9,297		0,156	4,822
$\lambda = \sigma_u / \sigma_v$	234,936	1,248		10,072	0,532
σ^2	0,059			0,049	
σ_u^2	0,059			0,048	
σ_v^2	1,06E-06			4,76E-04	
Log verosim.	124,925			129,285	

Los resultados utilizando la forma funcional CD muestran una significativa consistencia en todas las regresiones, los coeficientes de las variables explicativas se mantienen en unos rangos estrechos y las variables dicotómicas indican lo mismo en todas las especificaciones, aunque se aprecia que las correspondientes al año, disminuyen su valor, al introducir el control por comunidad autónoma, aunque mantengan sus diferencias relativas

Se aprecia también que la inclusión de las variables de comunidad autónoma, hace que cambie sustancialmente el comportamiento de las variables de año en el caso de la TL, llegando a cambiar el orden de prelación, pasando a ser 2012 mejor año que 2013.

4.4. Análisis de la eficiencia

En la **Tabla 7** se muestran los estadísticos descriptivos de los índices de eficiencia obtenidos con varios modelos alternativos. Además de los modelos de fronteras estocásticas CD y TL anteriores (modelos básicos, modelos con dummies anuales y modelos con dummies anuales y regionales, se presentan los índices de eficiencia con el modelo DEA. En las **Tablas 8 y 9** se presentan los coeficientes de correlación ente los índices y las clasificaciones de todos ellos. En general, se aprecia una muy alta correlación entre los resultados de la eficiencia obtenida bajo las distintas especificaciones y formas funcionales, sólo aparecen ciertas diferencias cuando se incluyen las variables dicotómicas de Comunidad Autónoma, e incluso en ese caso la correlación es alta para las dos formas funcionales (CD y TL). Los resultados cuando se examinan las posiciones relativas, coinciden con los obtenidos con los valores de eficiencia.

Los valores individuales de cada valor de eficiencia y la clasificación ordenada de las mismas se incluyen en las **Tablas 12 y 13** dentro de los Apéndices.

Tabla 7
Resumen estadístico de los distintos resultados de eficiencia

	SFACD	SFATLN	DEA	SFACDAÑO	SFATLNAÑO	SFACDTOT	SFATLNTOT
Mínimo	0,502	0,596	0,416	0,549	0,616	0,378	0,487
Mediana	0,876	0,880	0,783	0,880	0,884	0,849	0,864
Media	0,855	0,860	0,785	0,864	0,861	0,835	0,848
Máximo	0,959	0,956	1,000	0,961	0,959	0,999	0,990

Tabla 8
Correlaciones entre los distintos resultados de eficiencia

	SFACD	SFATLN	DEA	SFACDAÑO	SFATLNAÑO	SFACDTOT	SFATLNTOT
SFACD	1,000	0,975	0,912	0,976	0,944	0,748	0,757
SFATLN		1,000	0,899	0,953	0,974	0,716	0,770
DEA			1,000	0,884	0,870	0,740	0,727
SFACDAÑO				1,000	0,971	0,737	0,761
SFATLNAÑO					1,000	0,699	0,775
SFACDTOT						1,000	0,942
SFATLNTOT							1,000

Tabla 9
Correlaciones entre las clasificaciones realizadas en base a los distintos resultados de eficiencia

	SFACD	SFATLN	DEA	SFACDAÑO	SFATLNAÑO	SFACDTOT	SFATLNTOT
SFACD	1,000	0,965	0,949	0,969	0,937	0,681	0,693
SFATLN		1,000	0,926	0,937	0,970	0,637	0,702
DEA			1,000	0,919	0,897	0,688	0,691
SFACDAÑO				1,000	0,967	0,673	0,695
SFATLNAÑO					1,000	0,627	0,709
SFACDTOT						1,000	0,929
SFATLNTOT							1,000

Para una más fácil contrastación de los coeficientes se incluyen en los Apéndices las **Tablas 10 y 11** donde los coeficientes aparecen agrupados por sus formas funcionales, una tabla para todas las especificaciones CD y otra para las TL

5 . CONCLUSIONES

La principal conclusión es que es posible definir y aplicar una metodología para evaluar las empresas de producción eólica, en función de su eficiencia productiva, utilizando como variable de salida la producción anual, y como variables de entrada la inversión bruta, los costes operativos y la potencia nominal.

Se pueden controlar externalidades como el viento anual o los cambios regulatorios y fiscales a través de variables temporales o geográficas. La forma funcional utilizada puede ser una Cobb Douglas o una Translog con las variables normalizadas a la media geométrica de cada una, pues los coeficientes estimados en ambos casos salen razonablemente significativos y la alta correlación entre los resultados de eficiencia obtenidos a partir de ambas, hace que sea indiferente el utilizar una u otra. Las diferencias aparecen en los coeficientes asignados a las variables dicotómicas, siendo diferentes los resultados obtenidos al utilizar una u otra forma funcional.

Los rendimientos a escala observados en las sociedades son decrecientes, pudiéndose rechazar las hipótesis de crecientes o constantes, con un riesgo de error muy pequeño. El impuesto del 7% ha supuesto una disminución muy significativa de la eficiencia productiva, al aumentar drásticamente los costes operativos anuales, este efecto se ve enmascarado en el año 2013 por la condiciones de viento de ese año, las mejores del período considerado, pero se aprecia claramente en los años posteriores.

En cuanto a las Comunidades Autónomas, la eficiencia productiva sigue siendo mayor en algunas comunidades que se han dotado de fiscalidades adicionales (Galicia, Castilla la Mancha) pudiendo compensarse el efecto de unos mayores costes operativos, con un mayor recurso eólico o unos menores costes de inversión. En cualquier caso las comunidades más productivas son Galicia, Aragón y Cataluña, distanciadas de Castilla la Mancha, un nuevo escalón hasta Castilla y León, que puede estar afectada por el impuesto medioambiental de esta comunidad, y finalmente Andalucía y Asturias, que aparecen claramente a la cola de esta lista.

La comparación entre la metodología DEA y la SFA ofrece resultados muy similares, mientras no se utilizan las variables de control correspondientes a la Comunidad Autónoma. Pero el efecto de la Comunidad Autónoma altera no solo la correlación con la metodología DEA, sino con todas las estimaciones previas, ya sea con control de los años o sin control ninguno, y en ambas formas funcionales, lo que puede ser una indicación de algún problema en la estimación. Otro síntoma de este problema es el valor de lambda obtenido (10 para Translog y 294 para Cobb Douglas) que hacen desaparecer prácticamente la componente estocástica del error y asigna la discrepancia del modelo exclusivamente a la ineficiencia.

Como todo trabajo éste debería abrir puertas a futuros desarrollos y en este caso las posibilidades parecen claras: Por un lado ampliar el estudio a otras empresas del sector, si las condiciones son homogéneas, por otro ampliar el estudio a otras sociedades del mismo grupo empresarial, pero que desarrollan sus actividades en otros países, y finalmente estudiar la situación que aparece cuando se controla por Comunidad Autónoma, y la razón de la práctica desaparición del término de error y cómo la correlación observada en todas las formulaciones desaparece el adoptar esta especificación.

6. REFERENCIAS

- Aigner, D.J., Lovell, C.A.K., Schmidt, P., (1977). "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models". *Journal of Econometrics* 6, 21–37.
- Alvarez Pinilla,A.,Arias,C.,Orea,L.,(2003) "Introducción al análisis empírico de la producción", Universidades de Oviedo y León
- Barros, C.P., Peypoch, N., (2007). "The determinants of cost efficiency of hydroelectric generating plants: a random frontier approach". *Energy Policy* 35, 4463–4470.
- Barros, C.P., Peypoch, N., (2008). "Technical efficiency of thermoelectric power plants". *Energy Economics* 30, 3118–3127.
- Barros, C.P., (2007). "Efficiency analysis of hydroelectric generating plants: a case study for Portugal". *Energy Economics*, doi:10.1016/j.eneco.2006.10.008.
- Battese, G. E., & Broca, S. S. (1997). "Functional forms of stochastic frontier production functions and models for technical inefficiency effects: a comparative study for wheat farmers in Pakistan". *Journal of productivity analysis*, 8(4), 395-414.
- Battese, G.E., Coelli, T.J., (1988). "Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalised frontier production function and panel data". *Journal of Econometrics* 38, 387–399.
- Battese, G.E. and T.J. Coelli (1995), "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data", *Empirical Economics* 20, 325-332.
- Bogetoft,P. , Otto,L., (2010) "Benchmarking with DEA,SFA, and R", *International Series in Operations Research and Management Science*, Springer
- Bogetoft, P., Otto, L., & Otto, M. L. (2015). Package 'Benchmarking'.
- Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E., (1978), "Measuring the efficiency of decision making units". *European Journal of Operational Research*, 2, issue 6
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). "An introduction to efficiency and productivity analysis". Springer Science & Business Media.
- Dedoussis, V., Konstas, C., et al (2010). "Efficiency evaluation of hydroelectric power plants using data envelopment analysis" *Journal of Applied Operational Research* 2
- Edenhofer, Ottmar, et al. (2011). "IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation." Prepared By Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ederer, N. (2015). "Evaluating capital and operating cost efficiency of offshore wind farms: A DEA approach". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1034-1046.

- Farrell, M.J., (1957) "The Measurement of Productive Efficiency" *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* Vol. 120, No. 3 .
- Fried, H. O., Lovell, C. K., & Schmidt, S. S. (2008). "The measurement of productive efficiency and productivity growth". *Efficiency and productivity* . , 3, 3-91.
- Golani,B.,Roll,Y.,Rybak,D.,(1994). "Measuring efficiency of power plants in Israel by data envelopment analysis" *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol 41, N3
- Heshmati A. (2012), "Economic Fundamentals of Power Plants Performance", *Routledge Studies in the Modern World Economy #97*, Routledge.
- Iglesias, G. Castellanos, P. , Seijas, A.(2010) "Measurement of productive efficiency with frontier methods: A case study for wind farms". *Energy Economics* 32, 1199–1208.
- IRENA,(2015) "Renewable power generation costs in 2014", International Renewable Energy agency, www.irena.org
- Iribarren, D., Martín-Gamboa, M., & Dufour, J. (2013). "Environmental benchmarking of wind farms according to their operational performance". *Energy*, 61, 589-597
- Jondrow, J., Lovell, C. K., Materov, I. S., & Schmidt, P. (1982). "On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model". *Journal of econometrics*, 19(2-3), 233-238.
- Junginger, M., Faaij, A., Turkenburg, A.C.,(2005). "Global experience curves for wind farms". *Energy Policy* 33, 133–150.
- Krokoszinski, H.J., (2003). "Efficiency and effectiveness of wind farms — keys to cost optimized operation and maintenance". *Renewable Energy* 28, 2165–2178.
- Lansink, A. O., & Wall, A. (2014). "Frontier models for evaluating environmental efficiency: an overview". *Economics and Business Letters*,3(1), 43-50.
- Meenakumari, R., & Kamaraj, N. (2008). "Measurement of relative efficiency of state owned electric utilities in India using data envelopment analysis". *Modern Applied Science*, 2(5), 61.
- Meeusen, W., Van Den Broeck, J., (1977). "Efficiency estimation from a Cobb–Douglas production function with composed error". *International Economic Review* 18, 435–444.
- Orea, L., & Kumbhakar, S. C. (2004). "Efficiency measurement using a latent class stochastic frontier model". *Empirical Economics*, 29(1), 169-183.
- Pahwa, A. Feng, X. , Lubkeman, D.(2003), "Performance evaluation of electric distribution utilities based on data envelopment analysis" - *IEEE Transactions on Power Systems*, 2003

Park, S., Lesourd, J., (2000). "The efficiency of conventional fuel power plants in South Korea: a comparison of parametric and non-parametric approaches". *International Journal of Production Economics* 63, 59–67.

Shafali, J., Tripta, T. (2010), "Efficiency assessment of state owned electricity generation companies in India using data envelopment analysis", *International Journal on Emerging Technologies* 1

Shephard R.W., (1957). "Theory of cost and production functions" reprint in *Lecture notes in economics and mathematical systems*, 194.

Thakur, T., Deshmukh, S.G., Kaushik, S.C., (2006). "Efficiency evaluation of the state owned electric utilities in India". *Energy Policy* 34, 2788–2804.

Tyteca, D. (1996). "On the measurement of the environmental performance of firms—a literature review and a productive efficiency perspective". *Journal of environmental management* 46.3: 281-308.

Vaz, C. B., & Ferreira, Â. P. (2015). "Efficiency and Productivity Assessment of Wind Farms". *Operational Research* (pp. 407-424). Springer International Publishing.

Wigand F., Förster S., Amazo A., Tiedemann S. (Ecofys) Reviewed by: Klessmann C. (Ecofys) (2016), "Auctions for Renewable Support: Lessons Learnt from International Experiences" AURES Project deliverable: WP4 -Task 4.3. Report D4.

7. APENDICES

Tabla 10

Resultados de las regresiones utilizando la forma funcional Cobb Douglas

Coeficientes	MCO		SFA		SFA AÑO		SFA AÑO y COMUNIDAD	
	Valor	Estad. - t	Valor	Estad. - t	Valor	Estad. - t	Valor	Estad. - t
Intercepto	1,890	1,936	1,544	1,558	1,699	1,705	1,398	1,790
LINV	0,321	5,634	0,336	5,591	0,335	5,888	0,315	8,018
LOPE	0,149	2,968	0,175	3,088	0,157	2,652	0,191	9,508
LPOT	0,470	6,351	0,439	5,860	0,455	5,971	0,494	9,389
DUM12					0,066	1,521	0,035	2,929
DUM13					0,102	2,437	0,051	2,470
DUM14					0,057	1,412	0,009	0,498
DUMAST							-0,081	-3,405
DUMARA							0,180	9,461
DUMAND							-0,137	-5,995
DUMCLM							0,149	7,933
DUMGAL							0,182	12,899
DUMCAT							0,179	9,297
$\hat{\lambda} = \sigma_u / \sigma_v$			1,813	3,185	1,662	2,984	234,936	1,248
σ^2			0,055		0,050		0,059	
σ_u^2			0,042		0,037		0,059	
σ_v^2			0,013		0,013		1,06E-06	
Log verosim.			68,613		73,191		124,925	

Tabla 11

Resultados de las regresiones utilizando la forma funcional Translog

Coeficientes	MCO		SFA		SFA AÑO		SFA AÑO y COMUNIDAD	
	Valor	Estad. - t	Valor	Estad. - t	Valor	Estad. - t	Valor	Estad. - t
Intercepto	0,019	0,948	0,168	4,582	0,104	2,653	0,038	0,486
LINVNOR	0,408	5,140	0,405	5,347	0,393	5,368	0,396	6,894
LOPENOR	0,194	3,465	0,210	3,867	0,223	3,207	0,247	2,089
LPOTNOR	0,335	3,480	0,333	3,653	0,335	3,613	0,357	3,018
CINVNOR	-0,402	-1,120	-0,339	-1,042	-0,284	-0,887	-0,327	-1,390
COOPENOR	-0,195	-1,573	-0,125	-0,899	-0,115	-0,903	-0,122	-1,644
CPOTNOR	-0,983	-3,038	-0,749	-2,358	-0,729	-2,435	-0,748	-3,389
MOPEINVNOR	-0,645	-3,499	-0,546	-2,775	-0,564	-3,127	-0,426	-3,387
MOPEPOTNOR	0,997	2,877	0,767	1,929	0,782	2,167	0,666	2,997
MINVPOTNOR	1,242	1,866	1,006	1,692	0,925	1,581	0,970	2,238
DUM12					0,083	2,139	0,080	2,699
DUM13					0,096	2,924	0,071	1,409
DUM14					0,062	1,891	0,054	1,351
DUMAST							-0,052	-1,139
DUMARA							0,195	4,289
DUMAND							-0,108	-1,780
DUMCLM							0,103	2,478
DUMGAL							0,229	3,705
DUMCAT							0,156	4,822
$\hat{\lambda} = \sigma_u / \sigma_v$			1,7856	2,292	1,86957	2,405	10,072	0,532
σ^2			0,051		0,049		0,049	
σ_u^2			0,039		0,038		0,048	
σ_v^2			0,012		0,011		4,76E-04	
Log verosim.			75,246		80,210		129,285	

Tabla 12

Valores obtenidos de eficiencia para cada especificación y forma funcional

	DMU	AÑO	SOCIEDAD	SFACD	SFATLN	DEA	SFACDAÑO	SFATLNAÑO	SFACDTOT	SFATLNTOT
1	2012001	2012	1	0,710	0,715	0,566	0,723	0,695	0,568	0,542
2	2012002	2012	2	0,800	0,801	0,688	0,811	0,780	0,673	0,638
3	2012003	2012	3	0,949	0,956	1,000	0,949	0,957	0,971	0,961
4	2012004	2012	4	0,884	0,889	0,781	0,886	0,883	0,755	0,728
5	2012005	2012	5	0,891	0,918	0,872	0,896	0,913	0,817	0,829
6	2012006	2012	6	0,801	0,795	0,638	0,811	0,778	0,832	0,797
7	2012007	2012	7	0,744	0,770	0,611	0,752	0,757	0,743	0,772
8	2012008	2012	8	0,705	0,745	0,578	0,713	0,728	0,771	0,797
9	2012009	2012	9	0,827	0,842	0,726	0,832	0,829	0,995	0,971
10	2012010	2012	10	0,705	0,733	0,589	0,713	0,717	0,792	0,799
11	2012011	2012	11	0,680	0,676	0,611	0,691	0,664	0,683	0,662
12	2012012	2012	12	0,810	0,798	0,707	0,818	0,785	0,862	0,820
13	2012013	2012	13	0,886	0,918	0,817	0,887	0,913	0,940	0,987
14	2012014	2012	14	0,834	0,857	0,711	0,838	0,848	0,813	0,858
15	2012015	2012	15	0,792	0,812	0,649	0,798	0,798	0,758	0,790
16	2012016	2012	16	0,782	0,777	0,679	0,790	0,766	0,722	0,725
17	2012017	2012	17	0,859	0,859	0,765	0,862	0,849	0,896	0,890
18	2012018	2012	18	0,877	0,873	0,811	0,877	0,865	0,925	0,925
19	2012019	2012	19	0,923	0,924	0,997	0,923	0,922	0,998	0,978
20	2012020	2012	20	0,786	0,786	0,761	0,789	0,772	0,760	0,772
21	2012021	2012	21	0,878	0,886	0,806	0,880	0,881	0,748	0,820
22	2012022	2012	22	0,839	0,884	0,748	0,842	0,877	0,721	0,828
23	2012023	2012	23	0,883	0,897	0,813	0,884	0,891	0,823	0,881
24	2012024	2012	24	0,918	0,935	0,907	0,917	0,934	0,877	0,972
25	2012025	2012	25	0,924	0,925	0,897	0,924	0,922	0,906	0,938
26	2012026	2012	26	0,863	0,865	0,766	0,866	0,856	0,776	0,810
27	2012027	2012	27	0,879	0,891	0,801	0,880	0,884	0,806	0,861
28	2012028	2012	28	0,899	0,901	0,843	0,899	0,896	0,847	0,886
29	2012029	2012	29	0,931	0,936	0,945	0,930	0,934	0,934	0,925
30	2012030	2012	30	0,872	0,895	0,772	0,874	0,890	0,749	0,779
31	2012031	2012	31	0,957	0,954	1,000	0,957	0,954	0,997	0,967
32	2012032	2012	32	0,902	0,897	1,000	0,900	0,888	0,983	0,912
33	2012033	2012	33	0,925	0,919	1,000	0,927	0,917	0,998	0,951
34	2012034	2012	34	0,763	0,798	0,635	0,770	0,782	0,623	0,648
35	2012035	2012	35	0,946	0,950	1,000	0,945	0,950	0,998	0,978
36	2012036	2012	36	0,906	0,945	0,909	0,905	0,944	0,828	0,937
37	2012037	2012	37	0,945	0,949	0,996	0,944	0,949	0,981	0,969
38	2012038	2012	38	0,911	0,876	0,933	0,912	0,868	0,896	0,838
39	2012039	2012	39	0,896	0,852	0,897	0,896	0,838	0,853	0,823
40	2012040	2012	40	0,940	0,933	1,000	0,939	0,931	0,974	0,964
41	2012041	2012	41	0,924	0,925	0,903	0,924	0,923	0,874	0,889

42	2012042	2012	42	0,903	0,904	0,845	0,903	0,899	0,815	0,831
43	2012043	2012	43	0,942	0,941	1,000	0,940	0,940	0,957	0,969
44	2012044	2012	44	0,687	0,653	0,589	0,695	0,635	0,560	0,554
45	2013001	2013	1	0,840	0,837	0,744	0,832	0,810	0,703	0,679
46	2013002	2013	2	0,915	0,916	0,912	0,908	0,902	0,853	0,825
47	2013003	2013	3	0,956	0,955	1,000	0,952	0,952	0,996	0,948
48	2013004	2013	4	0,938	0,938	0,915	0,931	0,933	0,887	0,850
49	2013005	2013	5	0,929	0,955	1,000	0,922	0,953	0,904	0,980
50	2013006	2013	6	0,845	0,834	0,697	0,836	0,807	0,883	0,854
51	2013007	2013	7	0,776	0,781	0,619	0,765	0,757	0,772	0,789
52	2013008	2013	8	0,811	0,822	0,673	0,799	0,798	0,912	0,919
53	2013009	2013	9	0,826	0,824	0,717	0,815	0,801	0,972	0,953
54	2013010	2013	10	0,780	0,779	0,651	0,770	0,754	0,885	0,871
55	2013011	2013	11	0,875	0,874	0,783	0,866	0,853	0,958	0,925
56	2013012	2013	12	0,853	0,845	0,727	0,844	0,820	0,915	0,878
57	2013013	2013	13	0,888	0,901	0,786	0,877	0,886	0,926	0,966
58	2013014	2013	14	0,852	0,857	0,708	0,839	0,838	0,825	0,861
59	2013015	2013	15	0,763	0,759	0,597	0,754	0,732	0,707	0,721
60	2013016	2013	16	0,740	0,725	0,569	0,732	0,701	0,657	0,657
61	2013017	2013	17	0,880	0,878	0,773	0,869	0,863	0,919	0,925
62	2013018	2013	18	0,849	0,851	0,737	0,836	0,832	0,852	0,864
63	2013019	2013	19	0,924	0,930	0,905	0,917	0,921	0,978	0,976
64	2013020	2013	20	0,786	0,821	0,672	0,777	0,795	0,740	0,774
65	2013021	2013	21	0,876	0,856	0,717	0,865	0,835	0,728	0,767
66	2013022	2013	22	0,864	0,873	0,730	0,851	0,853	0,741	0,810
67	2013023	2013	23	0,890	0,891	0,799	0,879	0,877	0,821	0,870
68	2013024	2013	24	0,926	0,928	0,875	0,917	0,922	0,884	0,947
69	2013025	2013	25	0,926	0,929	0,875	0,918	0,922	0,894	0,945
70	2013026	2013	26	0,885	0,883	0,785	0,873	0,869	0,799	0,844
71	2013027	2013	27	0,883	0,884	0,781	0,871	0,868	0,798	0,846
72	2013028	2013	28	0,911	0,910	0,849	0,901	0,900	0,861	0,908
73	2013029	2013	29	0,927	0,926	0,907	0,919	0,919	0,900	0,893
74	2013030	2013	30	0,878	0,880	0,753	0,867	0,863	0,743	0,750
75	2013031	2013	31	0,959	0,951	1,000	0,956	0,946	0,993	0,948
76	2013032	2013	32	0,893	0,865	1,000	0,878	0,850	0,940	0,870
77	2013033	2013	33	0,928	0,921	1,000	0,922	0,916	0,995	0,969
78	2013034	2013	34	0,783	0,796	0,641	0,771	0,770	0,633	0,650
79	2013035	2013	35	0,937	0,938	0,938	0,930	0,933	0,931	0,927
80	2013036	2013	36	0,893	0,908	0,808	0,881	0,894	0,779	0,814
81	2013037	2013	37	0,936	0,937	0,925	0,930	0,932	0,915	0,910
82	2013038	2013	38	0,896	0,898	0,912	0,887	0,889	0,839	0,868
83	2013039	2013	39	0,887	0,884	0,869	0,876	0,871	0,813	0,860
84	2013040	2013	40	0,919	0,921	0,904	0,910	0,913	0,871	0,908
85	2013041	2013	41	0,905	0,908	0,824	0,895	0,897	0,803	0,832
86	2013042	2013	42	0,897	0,903	0,806	0,887	0,891	0,785	0,816
87	2013043	2013	43	0,936	0,944	0,986	0,928	0,940	0,904	0,955

88	2013044	2013	44	0,671	0,665	0,559	0,665	0,641	0,533	0,557
89	2013045	2013	45	0,896	0,914	0,857	0,885	0,903	0,784	0,838
90	2013046	2013	46	0,953	0,955	1,000	0,949	0,953	0,998	0,990
91	2014001	2014	1	0,798	0,797	0,674	0,814	0,789	0,681	0,643
92	2014002	2014	2	0,870	0,872	0,786	0,880	0,868	0,789	0,749
93	2014003	2014	3	0,949	0,952	0,985	0,950	0,955	0,990	0,957
94	2014004	2014	4	0,923	0,924	0,868	0,926	0,927	0,869	0,824
95	2014005	2014	5	0,904	0,938	0,915	0,911	0,940	0,867	0,913
96	2014006	2014	6	0,853	0,843	0,709	0,866	0,836	0,936	0,883
97	2014007	2014	7	0,886	0,892	0,771	0,892	0,894	0,998	0,982
98	2014008	2014	8	0,760	0,792	0,628	0,773	0,788	0,874	0,888
99	2014009	2014	9	0,793	0,802	0,677	0,806	0,799	0,959	0,933
100	2014010	2014	10	0,741	0,748	0,611	0,756	0,743	0,865	0,841
101	2014011	2014	11	0,821	0,814	0,701	0,834	0,811	0,899	0,850
102	2014012	2014	12	0,829	0,817	0,697	0,842	0,813	0,913	0,858
103	2014013	2014	13	0,856	0,886	0,742	0,864	0,886	0,901	0,950
104	2014014	2014	14	0,869	0,878	0,739	0,876	0,879	0,894	0,917
105	2014015	2014	15	0,840	0,851	0,699	0,849	0,851	0,848	0,870
106	2014016	2014	16	0,772	0,757	0,606	0,788	0,752	0,725	0,706
107	2014017	2014	17	0,862	0,859	0,760	0,870	0,860	0,924	0,911
108	2014018	2014	18	0,849	0,853	0,735	0,859	0,852	0,887	0,879
109	2014019	2014	19	0,916	0,919	0,876	0,921	0,920	0,992	0,967
110	2014020	2014	20	0,839	0,868	0,749	0,851	0,865	0,849	0,864
111	2014021	2014	21	0,904	0,894	0,778	0,909	0,896	0,817	0,853
112	2014022	2014	22	0,835	0,862	0,710	0,845	0,862	0,733	0,808
113	2014023	2014	23	0,888	0,893	0,805	0,893	0,895	0,853	0,892
114	2014024	2014	24	0,917	0,921	0,851	0,920	0,924	0,893	0,938
115	2014025	2014	25	0,940	0,942	0,943	0,942	0,945	0,999	0,990
116	2014026	2014	26	0,895	0,894	0,803	0,901	0,896	0,856	0,880
117	2014027	2014	27	0,890	0,891	0,794	0,896	0,892	0,846	0,875
118	2014028	2014	28	0,916	0,916	0,869	0,919	0,919	0,914	0,942
119	2014029	2014	29	0,887	0,887	0,805	0,893	0,889	0,830	0,810
120	2014030	2014	30	0,778	0,776	0,618	0,793	0,769	0,639	0,626
121	2014031	2014	31	0,941	0,931	0,887	0,943	0,933	0,910	0,874
122	2014032	2014	32	0,866	0,899	1,000	0,866	0,892	0,928	0,916
123	2014033	2014	33	0,894	0,895	0,932	0,900	0,898	0,932	0,897
124	2014034	2014	34	0,724	0,744	0,582	0,739	0,738	0,596	0,605
125	2014035	2014	35	0,915	0,916	0,857	0,919	0,919	0,888	0,867
126	2014036	2014	36	0,863	0,919	0,812	0,868	0,921	0,763	0,859
127	2014037	2014	37	0,903	0,906	0,826	0,907	0,908	0,846	0,831
128	2014038	2014	38	0,834	0,826	0,792	0,846	0,828	0,764	0,762
129	2014039	2014	39	0,814	0,791	0,739	0,825	0,789	0,732	0,738
130	2014040	2014	40	0,934	0,925	0,988	0,935	0,927	0,976	0,965
131	2014041	2014	41	0,892	0,896	0,792	0,899	0,897	0,808	0,818
132	2014042	2014	42	0,859	0,862	0,743	0,868	0,862	0,749	0,759
133	2014043	2014	43	0,915	0,922	0,899	0,918	0,924	0,869	0,889

134	2014044	2014	44	0,673	0,674	0,560	0,691	0,668	0,557	0,574
135	2014045	2014	45	0,883	0,889	0,823	0,889	0,890	0,796	0,813
136	2014046	2014	46	0,946	0,947	0,962	0,947	0,950	0,989	0,981
137	2015001	2015	1	0,806	0,805	0,686	0,851	0,833	0,697	0,688
138	2015002	2015	2	0,891	0,894	0,825	0,916	0,915	0,838	0,831
139	2015003	2015	3	0,948	0,948	0,954	0,957	0,959	0,990	0,967
140	2015004	2015	4	0,901	0,899	0,790	0,923	0,922	0,813	0,796
141	2015005	2015	5	0,937	0,941	1,000	0,948	0,954	0,998	0,985
142	2015006	2015	6	0,776	0,765	0,628	0,825	0,788	0,818	0,807
143	2015007	2015	7	0,679	0,683	0,517	0,725	0,711	0,680	0,709
144	2015008	2015	8	0,771	0,791	0,632	0,815	0,822	0,897	0,933
145	2015009	2015	9	0,812	0,812	0,698	0,853	0,844	0,998	0,983
146	2015010	2015	10	0,748	0,754	0,618	0,794	0,786	0,883	0,897
147	2015011	2015	11	0,835	0,832	0,717	0,874	0,860	0,929	0,915
148	2015012	2015	12	0,858	0,848	0,742	0,892	0,877	0,975	0,956
149	2015013	2015	13	0,824	0,860	0,701	0,861	0,887	0,854	0,946
150	2015014	2015	14	0,767	0,778	0,612	0,811	0,812	0,745	0,802
151	2015015	2015	15	0,746	0,752	0,586	0,791	0,783	0,723	0,768
152	2015016	2015	16	0,696	0,681	0,518	0,745	0,706	0,636	0,644
153	2015017	2015	17	0,824	0,821	0,706	0,862	0,854	0,866	0,893
154	2015018	2015	18	0,759	0,764	0,624	0,805	0,796	0,760	0,790
155	2015019	2015	19	0,881	0,885	0,786	0,909	0,908	0,907	0,929
156	2015020	2015	20	0,672	0,725	0,539	0,722	0,749	0,631	0,689
157	2015021	2015	21	0,803	0,793	0,639	0,844	0,827	0,666	0,737
158	2015023	2015	23	0,755	0,762	0,625	0,800	0,795	0,667	0,733
159	2015024	2015	24	0,863	0,861	0,725	0,894	0,889	0,779	0,843
160	2015025	2015	25	0,892	0,893	0,790	0,916	0,917	0,846	0,911
161	2015026	2015	26	0,815	0,812	0,683	0,855	0,845	0,730	0,787
162	2015027	2015	27	0,845	0,853	0,737	0,878	0,884	0,776	0,856
163	2015028	2015	28	0,869	0,867	0,765	0,899	0,896	0,813	0,877
164	2015029	2015	29	0,881	0,879	0,787	0,908	0,905	0,824	0,836
165	2015030	2015	30	0,775	0,781	0,622	0,820	0,813	0,643	0,670
166	2015031	2015	31	0,954	0,948	0,966	0,961	0,959	0,998	0,984
167	2015032	2015	32	0,878	0,887	1,000	0,901	0,908	0,960	0,952
168	2015033	2015	33	0,907	0,900	0,943	0,928	0,924	0,973	0,967
169	2015034	2015	34	0,869	0,879	0,753	0,898	0,904	0,783	0,817
170	2015035	2015	35	0,912	0,913	0,847	0,930	0,933	0,887	0,904
171	2015036	2015	36	0,865	0,905	0,779	0,894	0,926	0,771	0,867
172	2015037	2015	37	0,930	0,937	0,930	0,943	0,951	0,943	0,977
173	2015038	2015	38	0,927	0,880	1,000	0,937	0,899	0,998	0,966
174	2015039	2015	39	0,722	0,776	0,659	0,773	0,811	0,622	0,732
175	2015040	2015	40	0,865	0,861	0,784	0,896	0,890	0,795	0,839
176	2015041	2015	41	0,854	0,856	0,733	0,887	0,886	0,749	0,792
177	2015042	2015	42	0,812	0,819	0,672	0,853	0,850	0,690	0,733
178	2015043	2015	43	0,870	0,892	0,790	0,900	0,915	0,776	0,845
179	2015044	2015	44	0,502	0,596	0,416	0,549	0,616	0,378	0,487

180	2015045	2015	45	0,822	0,839	0,718	0,861	0,868	0,706	0,762
181	2015046	2015	46	0,922	0,925	0,851	0,938	0,941	0,890	0,937

Tabla 13

Valores obtenidos de la posición relativa en función de la eficiencia para cada especificación y forma funcional

	AÑO	SOCIEDAD	SFACD	SFATLN	DEA	SFACDAÑO	SFATLNAÑO	SFACDTOT	SFATLNTOT
1	2012	1	11	8	7	9	6	5	2
2	2012	2	39	40	44	36	25	17	8
3	2012	3	176	181	173	175	179	154	155
4	2012	4	103	102	89	98	90	43	23
5	2012	5	114	137	131	111	128	75	66
6	2012	6	40	35	30	35	24	83	46
7	2012	7	16	22	18	14	18	36	36
8	2012	8	9	13	9	7	11	50	47
9	2012	9	54	58	62	46	52	168	167
10	2012	10	10	11	12	6	10	61	48
11	2012	11	6	5	16	4	4	20	14
12	2012	12	43	39	52	41	28	99	60
13	2012	13	105	138	115	102	130	147	179
14	2012	14	57	69	56	50	61	71	86
15	2012	15	36	44	33	30	38	44	43
16	2012	16	32	25	41	26	20	27	22
17	2012	17	74	71	82	68	62	121	112
18	2012	18	92	84	112	87	77	139	132
19	2012	19	147	146	164	150	145	176	171
20	2012	20	34	30	80	25	23	45	37
21	2012	21	94	98	109	94	89	39	61
22	2012	22	60	95	75	52	86	26	65
23	2012	23	100	118	114	96	105	78	106
24	2012	24	144	158	143	137	161	108	168
25	2012	25	149	150	137	152	146	129	140
26	2012	26	79	79	83	74	70	52	54
27	2012	27	96	105	105	93	92	67	89
28	2012	28	125	124	120	118	114	89	108
29	2012	29	160	159	156	160	160	145	133
30	2012	30	89	115	85	83	101	40	39
31	2012	31	180	177	173	180	177	171	161
32	2012	32	127	117	173	120	97	162	124
33	2012	33	152	140	173	154	135	175	149
34	2012	34	22	38	29	18	26	8	11
35	2012	35	173	174	173	171	170	178	172
36	2012	36	133	169	144	126	166	81	139
37	2012	37	171	173	163	170	169	161	166

38	2012	38	136	86	152	134	79	122	73
39	2012	39	122	64	136	113	58	94	62
40	2012	40	167	157	173	165	154	157	156
41	2012	41	151	151	139	151	147	107	110
42	2012	42	129	126	121	125	119	73	67
43	2012	43	170	166	173	166	163	150	165
44	2012	44	7	2	13	5	2	4	3
45	2013	1	63	56	74	45	42	23	16
46	2013	2	140	134	145	129	121	95	64
47	2013	3	179	178	173	177	173	170	147
48	2013	4	166	164	148	161	158	114	80
49	2013	5	158	180	173	148	175	127	173
50	2013	6	64	55	46	48	41	109	83
51	2013	7	29	28	22	17	19	51	41
52	2013	8	44	51	38	31	37	132	129
53	2013	9	53	52	59	39	40	155	151
54	2013	10	31	27	34	19	17	112	99
55	2013	11	90	85	91	73	68	151	130
56	2013	12	70	60	63	54	48	135	103
57	2013	13	110	123	95	88	95	140	159
58	2013	14	68	70	53	51	57	80	90
59	2013	15	23	18	14	15	12	25	21
60	2013	16	14	10	8	11	7	14	13
61	2013	17	97	88	86	79	75	137	131
62	2013	18	67	63	68	49	53	92	92
63	2013	19	150	155	141	139	140	160	169
64	2013	20	35	50	37	23	34	34	38
65	2013	21	91	68	58	71	55	30	34
66	2013	22	80	83	64	61	67	35	53
67	2013	23	112	106	104	91	87	77	98
68	2013	24	153	153	133	138	144	111	145
69	2013	25	154	154	132	140	142	120	143
70	2013	26	104	93	93	82	83	65	77
71	2013	27	101	94	90	81	82	64	79
72	2013	28	135	131	123	123	120	98	120
73	2013	29	155	152	142	143	138	125	115
74	2013	30	95	91	78	76	76	37	30
75	2013	31	181	175	173	178	168	167	146
76	2013	32	118	78	173	89	63	148	97
77	2013	33	157	142	173	147	133	169	164
78	2013	34	33	36	32	20	22	10	12
79	2013	35	164	162	153	159	159	143	134
80	2013	36	117	129	111	95	108	55	56
81	2013	37	163	161	149	157	155	136	121
82	2013	38	123	119	146	100	100	85	95
83	2013	39	107	96	129	85	84	69	88

84	2013	40	145	143	140	132	129	105	119
85	2013	41	132	130	117	110	115	66	70
86	2013	42	124	125	110	99	104	59	57
87	2013	43	162	168	161	156	162	128	152
88	2013	44	2	3	5	2	3	2	4
89	2013	45	121	133	126	97	122	58	72
90	2013	46	177	179	173	174	174	180	181
91	2014	1	38	37	39	38	32	19	9
92	2014	2	87	82	96	92	80	60	29
93	2014	3	175	176	160	176	178	165	154
94	2014	4	148	147	128	153	152	104	63
95	2014	5	131	163	147	133	164	102	125
96	2014	6	69	59	54	72	56	146	107
97	2014	7	106	108	84	105	109	174	175
98	2014	8	21	33	26	22	30	106	109
99	2014	9	37	41	40	34	39	152	136
100	2014	10	15	14	17	16	14	100	75
101	2014	11	49	46	50	47	43	124	81
102	2014	12	55	47	45	53	46	133	85
103	2014	13	72	99	72	70	94	126	148
104	2014	14	86	87	69	86	88	119	128
105	2014	15	62	62	48	58	65	90	96
106	2014	16	26	17	15	24	16	29	19
107	2014	17	76	72	79	80	71	138	122
108	2014	18	66	65	66	65	66	115	104
109	2014	19	141	139	134	146	139	166	162
110	2014	20	61	81	76	60	78	91	91
111	2014	21	130	113	87	130	111	74	82
112	2014	22	59	77	55	56	73	33	51
113	2014	23	109	109	107	107	110	93	113
114	2014	24	143	144	125	145	148	118	141
115	2014	25	168	167	154	167	167	181	180
116	2014	26	120	111	106	124	113	97	105
117	2014	27	111	104	103	114	106	88	101
118	2014	28	142	135	130	144	137	134	142
119	2014	29	108	101	108	106	98	82	52
120	2014	30	30	23	20	28	21	12	7
121	2014	31	169	156	135	169	157	131	100
122	2014	32	83	120	173	75	107	141	127
123	2014	33	119	114	151	119	117	144	117
124	2014	34	13	12	10	12	13	6	6
125	2014	35	138	136	127	142	136	116	93
126	2014	36	78	141	113	78	141	47	87
127	2014	37	128	128	119	127	125	87	69
128	2014	38	56	53	101	57	51	48	32
129	2014	39	47	32	70	44	33	32	28

130	2014	40	161	148	162	162	153	159	157
131	2014	41	116	116	102	117	116	68	59
132	2014	42	75	76	73	77	74	42	31
133	2014	43	139	145	138	141	149	103	111
134	2014	44	4	4	6	3	5	3	5
135	2014	45	102	103	116	103	102	63	55
136	2014	46	172	170	158	172	171	163	174
137	2015	1	42	42	43	59	54	22	17
138	2015	2	113	112	118	136	132	84	68
139	2015	3	174	171	157	179	180	164	160
140	2015	4	126	121	100	149	143	70	45
141	2015	5	165	165	173	173	176	173	178
142	2015	6	28	21	27	43	31	76	50
143	2015	7	5	7	2	10	9	18	20
144	2015	8	25	31	28	40	49	123	137
145	2015	9	46	43	47	63	59	177	176
146	2015	10	18	16	21	29	29	110	116
147	2015	11	58	54	57	84	72	142	126
148	2015	12	73	61	71	104	85	158	153
149	2015	13	51	73	49	67	96	96	144
150	2015	14	24	26	19	37	45	38	49
151	2015	15	17	15	11	27	27	28	35
152	2015	16	8	6	3	13	8	11	10
153	2015	17	52	49	51	69	69	101	114
154	2015	18	20	20	24	33	36	46	42
155	2015	19	99	97	94	131	127	130	135
156	2015	20	3	9	4	8	15	9	18
157	2015	21	41	34	31	55	50	15	27
158	2015	23	19	19	25	32	35	16	26
159	2015	24	77	75	61	109	99	56	76
160	2015	25	115	110	99	135	134	86	123
161	2015	26	48	45	42	64	60	31	40
162	2015	27	65	66	67	90	91	53	84
163	2015	28	85	80	81	116	112	72	102
164	2015	29	98	89	97	128	124	79	71
165	2015	30	27	29	23	42	47	13	15
166	2015	31	178	172	159	181	181	179	177
167	2015	32	93	100	173	122	126	153	150
168	2015	33	134	122	155	155	150	156	163
169	2015	34	84	90	77	115	123	57	58
170	2015	35	137	132	122	158	156	113	118
171	2015	36	81	127	88	108	151	49	94
172	2015	37	159	160	150	168	172	149	170
173	2015	38	156	92	173	163	118	172	158
174	2015	39	12	24	35	21	44	7	24
175	2015	40	82	74	92	112	103	62	74

176	2015	41	71	67	65	101	93	41	44
177	2015	42	45	48	36	62	64	21	25
178	2015	43	88	107	98	121	131	54	78
179	2015	44	1	1	1	1	1	1	1
180	2015	45	50	57	60	66	81	24	33
181	2015	46	146	149	124	164	165	117	138

Gráficas comparativas de valores de eficiencia.



