



La Distribución Eléctrica en Argentina y su Eficiencia Técnica: Una Aplicación del Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA) Utilizando Funciones Distancia

*Electricity Distribution and Technical Efficiency in Argentina:
An Application of Stochastic Frontier Analysis (SFA)
using Functions of Distance*

DARIO EZEQUIEL DÍAZ*

Facultad de Ciencias Empresariales,
Universidad Autónoma de Encarnación, República del Paraguay
rdarioezequieldiaz@gmail.com

RESUMEN

La tarifa es la variable más relevante en la compleja organización de la regulación del sistema eléctrico, y particularmente, de la actividad de distribución. La crisis financiera del año 2009 y la experiencia negativa de algunas privatizaciones a nivel internacional, conjuntamente con una literatura económica endeble respecto a la relación titularidad/eficiencia, revitalizaron el debate en analizar la relación entre la propiedad pública/privada de la empresa y su eficiencia técnica; la medición de esta última y el esquema de regulación adecuado para la distribución eléctrica. El objetivo del presente paper es medir la eficiencia técnica de las empresas distribuidoras eléctricas de la República Argentina utilizando la técnica de funciones distancia bajo el marco del análisis de fronteras estocásticas, con el objeto de construir un ranking de eficiencia entre las empresas privadas y públicas.

Palabras clave: distribución eléctrica, eficiencia técnica, función distancia, frontera estocástica.

Clasificación JEL: C31, D61, L94, Q40.

*. Direccion Postal: Calle Antonio Llamas 2987-Posadas, Provincia de Misiones, Argentina.



ABSTRACT

The rate is the most important variable in the complex organization of the regulation of the electricity system, and particularly of the distribution activity. The financial crisis of 2009 and the negative experience of some privatizations internationally together with weak economic literature regarding the ownership / efficiency ratio, revived the debate on analyzing the relationship between public / private ownership of the company and its efficiency technique; measurement of the latter and appropriate regulatory scheme for power distribution. The aim of this paper is to measure the technical efficiency of power distribution companies of Argentina using techniques of distance functions under the framework of stochastic frontier analysis, in order to build a ranking of efficiency between private and public companies.

Keywords: electrical distribution, technical efficiency, distance function, stochastic frontier.

JEL Classification: C31, D61, L94, Q40.

I. INTRODUCCIÓN

A principios de la década del noventa, en nuestro país se introdujeron transformaciones profundas en el sector eléctrico, a partir de la Ley Nacional N° 24.065, bajo el marco general de la reforma del Estado, cuando se decidió pasar a un sistema más descentralizado y con mayor participación privada. Con respecto a la distribución eléctrica, la Ley dispuso que la misma sea considerada un servicio público debido a su condición monopólica, y aplicó el mecanismo de regulación por precios máximos (un tipo de regulación por incentivos) y el control de la calidad.

Debido a la experiencia negativa del accionar de las empresas de propiedad estatal, respecto a su ineficiencia y falta de competitividad, durante la “década de los noventa” la teoría económica había llegado a cierto consenso respecto de la organización de los servicios públicos, que se sintetizaba en el provecho de concesionar su operación en empresas privadas (que parecían resolver mejor el problema principal-agente dentro de la organización y lograr una mayor eficiencia productiva) y encuadrar a dichas empresas a una regulación por la cual el Estado le estableciera ciertos objetivos básicos en términos de eficiencia asignativa y equidad distributiva, y con grados diversos de compe-

tencia, con la finalidad de mitigar los problemas de agencia entre el regulador y la empresa regulada.

Otra cuestión tratada en la Ley Nacional N° 24.065 se refiere a que permitió a los Estados Provinciales que sean propietarios de las distribuidoras, y a la vez, que definan el esquema regulatorio bajo el control de sus propios entes.

La mayoría de las provincias concesionaron el servicio al sector privado, aunque en diez de ellas, el régimen de prestación del servicio de distribución de energía eléctrica no sufrió modificaciones. Es decir, continuó a cargo de las entidades públicas y cooperativas de larga trayectoria en el sector. Dentro de este heterogéneo colectivo de empresas públicas y cooperativas se destaca la existencia de dos de las prestadoras más grandes en volumen de ventas y en cantidad de clientes de Argentina: la “Empresa Provincial de Energía de Córdoba” (EPEC) y la “Empresa Provincial de Energía de Santa Fe” (EPE). Otras empresas públicas de distribución eléctrica relevantes son “Electricidad Misiones Sociedad Anónima” (EMSA) de la Provincia de Misiones, la empresa “Servicios Energéticos del Chaco Empresa del Estado Provincial” (SECHEEP) correspondiente a la provincia del Chaco, y la “Dirección Provincial de Energía de Corrientes” (DPEC) de la Provincia de Corrientes.

Debido a la profunda crisis económica y social, y a la declaración de la emergencia pública en el año 2002, se alteró el contexto operativo en el que se venían desempeñando las empresas prestadoras de servicio. La Ley de Emergencia Pública N° 25.561 trajo aparejado cambios fundamentales en el contexto macroeconómico; en particular, la salida del régimen de convertibilidad y de la consiguiente paridad fija un peso = un dólar estadounidense (lo que sobrevino en una fuerte depreciación de la moneda nacional). Relacionado a tal “pesificación” de la economía local, la Ley de Emergencia Pública en su artículo N° 4 retomó y confirmó la prohibición de indexación de las tarifas de los servicios públicos establecida por la Ley N° 23.928 (constantemente omitida y/o modificada durante la década de los noventa, a través de normas de menor estatus jurídico); y, esencialmente, dispuso que el Poder Ejecutivo Nacional (y los Estados Provinciales que adhirieran a la misma) encauzara un proceso de renegociación de todos los contratos entre las firmas privadas prestadoras de servicios públicos y el Estado Nacional.

La tarifa es la variable más relevante en la compleja organización de la regulación del sistema eléctrico, y particularmente, de la actividad de distribución. El establecimiento del nivel de tarifas y de las estructuras tarifarias

configuran uno de los desafíos más complejos para la autoridad regulatoria. Al constituir la actividad de distribución eléctrica un monopolio natural, la tarifa no es el producto de la interrelación entre múltiples oferentes y compradores, sino que son determinadas por la autoridad y para ello debe tener en cuenta el comportamiento de los consumidores o usuarios, la valoración que ellos hacen en términos de utilidad, su capacidad de pago y el crecimiento futuro de la demanda, sin perder de vista, que los oferentes recuperen sus costos, alcancen una rentabilidad razonable e inviertan para garantizar la prestación del servicio en el futuro.

En Argentina, la Ley N° 24.065, implementó un mecanismo de regulación por precio máximo (price cap). En términos de la literatura económica, el modelo consiste en fijar un tope en los precios que una firma regulada puede cobrar por su producto, sin imponer límites a los beneficios que ésta pueda obtener cobrando dichos precios.¹ Actualmente por consecuencia de la Ley de Emergencia Económica, que suspendió la aplicación del esquema de “price-cap” y dada la fragmentación entre la jurisdicción nacional y provincial respecto a contar con una regulación homogénea para las empresas distribuidoras eléctricas, sean privadas o estatales, se vuelve imprescindible medir las consecuencias de la implementación de algún método de regulación pertinente, como por ejemplo, el “price cap”.

Un primer paso para la implementación de un posible esquema de regulación, es medir el nivel actual de eficiencia técnica de las empresas de distribución eléctrica. Sumado la crisis financiera del año 2009 y la experiencia negativa de algunas privatizaciones a nivel internacional, conjuntamente con una literatura económica endeble respecto a la relación titularidad/eficiencia, se revitalizó el debate en analizar la relación entre la propiedad pública/privada de la empresa y su eficiencia técnica; la medición de esta última y el esquema de regulación adecuado para la distribución eléctrica.

Aunque los temas mencionados son ambiciosos y generarían por sí mismo varias líneas de investigación, el presente artículo tiene el siguiente interrogante principal: ¿afecta la titularidad de la propiedad de las empresas de distribución de energía eléctrica de la República Argentina (pública/privada) a la eficiencia técnica de las mismas? Es decir: ¿qué tipo de empresas de distribu-

1. De este modo, la empresa regulada es incentivada a minimizar los costos de producción tal como si fuera una empresa tomadora de precios. En términos generales se estipula un periodo tarifario de cuatro o cinco años, y ajustes periódicos que manifiesten el incremento en los costos de la empresa. Una de las fórmulas más divulgadas de actualización es IPC- X, es decir, el aumento de precios está enlazado al índice de precios al consumidor menos un factor de eficiencia X.

ción eléctrica (privadas vs. públicas) presentan mayores niveles de eficiencia técnica?. El objetivo del presente paper es medir la eficiencia técnica de las empresas distribuidoras eléctricas de la República Argentina utilizando la técnica de funciones distancia bajo el marco del análisis de fronteras estocásticas, con el objeto de construir un ranking de eficiencia entre las empresas privadas y públicas.²

El presente trabajo se ordena de la siguiente forma: la sección II presenta las principales variables que influyen en el desarrollo de la actividad de la distribución eléctrica; mientras que en las secciones III y IV se señalan los puntos más relevantes de la teoría de las fronteras estocásticas y de las funciones distancia. En la secciones V y VI se desarrolla un breve resumen teórico del testeo de hipótesis en la estimación econométrica y en las fronteras estocásticas. Luego, en las secciones VII y VIII, se describen los datos utilizados y se analizan los resultados alcanzados, correspondientemente. En la sección IX se presentan los tests asociados, y en la X, el ranking de eficiencia obtenido. Por último, la sección XI resume las principales conclusiones.

II. TECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DEL SECTOR DE LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

En la distribución de energía eléctrica, existen diferentes variables que son importantes en el desarrollo de dicha actividad. Al respecto, existe un consenso con el artículo de Neuberg (1977) de que los cuatro principales factores que afectan la distribución de energía son: el consumo de energía, el número de consumidores, la longitud de redes y el área que cubre la oferta de energía.

Sin embargo, como lo sostiene Hattori (2002), es difícil distinguir entre los insumos y las variables de entorno que afectan la distribución del servicio. Por ejemplo, la longitud de redes de distribución o el número de transformadores pueden ser considerados como insumos. No obstante, éstas variables dependen a su vez de la localización de los usuarios, variable que no está bajo el control de las empresas.

Asimismo, aunque dos empresas distribuyan la misma cantidad de energía, la eficiencia de producción y costos puede ser diferente dependiendo

2. Un trabajo muy importante que ha sido de referencia para la realización de la presente investigación, entre otros, es el de (Melo, Espinosa, 2005), "que evalúa el desempeño de las empresas distribuidoras de energía [de Colombia] durante el período 1999-2003, utilizando la metodología de funciones de distancia estocástica, la cual, a través de la estimación de las desviaciones de una función ideal de producción, permite medir los niveles de eficiencia técnica de las diferentes empresas". (pp: 89-90)

del número de usuarios que se atienden y/o de la densidad de localización de los mismos. Por estas razones, no existe un claro consenso en la literatura internacional sobre la definición del “producto” que ofrecen las empresas distribuidoras de energía eléctrica. Los productos que más han sido utilizados son la cantidad de energía distribuida y el número de usuarios atendidos. En algunos casos también se emplean como productos la energía distribuida a diferentes tipos de usuarios tales como usuarios residenciales, industriales y comerciales, la cual distribuye a diferentes niveles de tensión, afectando los costos y función de producción de las empresas.

Dependiendo del tipo de análisis, algunos trabajos escogen una sola variable, siendo la más utilizada, la cantidad de energía distribuida a los usuarios finales, teniendo en cuenta, como lo sostienen Estache et al. (2002), que esta variable no es completamente exógena dado que la empresa no escoge la cantidad de energía distribuida a los precios dados. Una ventaja de las funciones de distancia, la cual se utiliza en el análisis empírico, es que permiten la incorporación de múltiples productos en las estimaciones de eficiencia técnica de las firmas. Esta técnica permite medir económicamente la eficiencia cuando las firmas pueden ser catalogadas como multi-productos, como en el caso de las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

Así mismo, para la definición de las variables que afectan el desempeño del sector, es necesario tener claridad sobre el funcionamiento y las características de los sistemas de distribución de la energía. Al respecto, Burns y Weyman-Jones (1996) sostienen que para analizar dichas características se debe tener en cuenta la influencia de los aspectos espaciales y geográficos, los cuales se reflejan en el área cubierta y en la densidad de los usuarios atendidos.

Se pueden identificar los siguientes factores que afectan la tecnología del sector: i) la máxima demanda del sistema, la cual determina la capacidad del sistema y de los nodos de energía individual; ii) el número total de usuarios atendidos, como indicador de la extensión del sistema; iii) la clase de usuarios atendidos, la cual puede determinar la extensión a la cual operan las líneas a diferentes capacidades, en diferentes momentos; iv) la dispersión de los usuarios a través de la región atendida por la empresa de distribución, dando indicios sobre la configuración del sistema; v) el tamaño del área de distribución, el cual da indicios sobre el tamaño total del sistema; vi) el total de kilovatios vendidos, lo cual afecta el desgaste de los transformadores; vii) la longitud de las líneas de distribución, y viii) la capacidad de los transformadores, los cuales afectan las pérdidas de la red.

III. FRONTERAS ESTOCÁSTICAS

El análisis empírico se realiza utilizando la técnica de “análisis de frontera estocástica”, la cual plantea un nuevo enfoque para la estimación de los niveles de eficiencia. En efecto, las técnicas estocásticas de análisis de frontera son extensiones del modelo de regresión tradicional, basadas en la premisa microeconómica de que las funciones de producción y de costos representan un ideal: el máximo producto o el mínimo costo que se puede obtener con un conjunto dado de insumos.

La eficiencia puede medirse utilizando las técnicas de frontera, como la distancia que existe entre una observación y el valor que predice un modelo teórico. Los modelos de frontera más utilizados son las fronteras de producción y de costos. Los primeros permiten estimar la eficiencia técnica como la distancia entre la producción observada y la frontera que representa el producto máximo que puede obtenerse dado un vector de insumos.

El presente trabajo se concentrará en las técnicas de frontera estocástica, que a diferencia del análisis de regresión tradicional, se basa en la especificación de un término de error separable en dos componentes: el primero, asociado con la ineficiencia y por ende bajo el control de la firma, y el segundo, conformado por choques aleatorios constituidos por todos aquellos elementos estocásticos que pueden contaminar el modelo y que se encuentran por fuera del control de la firma. La introducción de éstas técnicas permite estimar las medidas de eficiencia, teniendo en cuenta el hecho de que los choques aleatorios fuera del control de las firmas pueden afectar los niveles de producción. Así, la principal diferencia entre las regresiones tradicionales y los modelos de frontera estocástica se basa en el hecho de que el error en los modelos de frontera es separable en dos componentes: el término de error y la ineficiencia.

La estructura básica de los modelos estocásticos de frontera está dada por la siguiente ecuación:

$$y = a + \beta'x + v - u$$

Donde se supone que el término de perturbación tiene dos componentes, v y u ($v - u$ para las funciones de producción y $v + u$ para las funciones de costos), donde v es una variable distribuida normalmente que captura el ruido estadístico, con la idea de que las desviaciones de la frontera no se encuentran completamente bajo el control del productor. El término u es la variable que mide la ineficiencia, por lo que sólo puede tomar valores no negativos. De

esta manera, si alguna unidad productora fuera completamente eficiente, u sería igual a cero y las desviaciones con respecto a la frontera serían completamente aleatorias. Es importante señalar que en los modelos de frontera se supone que el error ajustado tiene un sesgo negativo en las funciones de costos, y positivo en las funciones de producción. Si el error estuviera simétricamente distribuido no existirían unidades productivas ineficientes.

En la literatura, diferentes trabajos han encontrado que las medidas de eficiencia obtenidas con diferentes técnicas de estimación y con diferentes supuestos sobre la distribución del término u , muestran variaciones importantes. Sin embargo, es menos claro si la clasificación de las unidades de producción por su medida individual de eficiencia es sensible a las técnicas de estimación y a los supuestos sobre la distribución. La evidencia empírica muestra que la clasificación de las unidades de producción por los niveles de eficiencia son similares, especialmente en la parte superior e inferior de la ordenación, donde usualmente se concentra el interés del análisis (Kumbhakar y Lovell, 2000).

IV. FUNCIONES DISTANCIA

La función de distancia original de Shephard toma a los (múltiples) outputs como dados y busca contraer el vector de inputs lo máximo asequible, obedeciendo a la factibilidad tecnológica del vector contraído (la conversión a la máxima expansión del vector de outputs, dados los inputs, es directa). Proporciona de esta manera una caracterización completa de la estructura de la tecnología de producción eficiente (en entornos multi-output y multi-input), y suministra un valor recíproco de la distancia de cada firma a dicha tecnología eficiente (Färe, Grosskopf y Lovell, 1994). Una función de distancia impone una forma funcional a la distancia existente entre un vector de outputs y un vector de inputs [Ver por ejemplo (Coelli, Perelman, 1999) y (Coelli, Perelman, 2000)].

Debido a características propias y específicas de la actividad de distribución eléctrica donde las empresas deben atender una cantidad exógena de clientes y responder a los requerimientos de la demanda (por lo que el output es considerado dado o exógeno y los inputs como variables endógenas), es necesario que las funciones de distancia sean orientadas a los inputs.³

3. Färe et al (1994) demuestran que bajo rendimientos constantes de escala, la función de distancia input es igual a la inversa de aquella con orientación output. Sin embargo, bajo economías de escala, como es de suponer en esta industria, no se cumple esta propiedad. Esta es la sugerencia de Coelli y Perelman (1998) en un estudio de eficiencia de empresas ferroviarias: "we would have a marginal preference for the input distance function since the rail companies are unlikely to have had much discretionary power over their output quantities"

En el caso del marco regulatorio argentino, según el artículo 21 de la Ley N° 24.065, “los distribuidores deberán satisfacer toda demanda de servicios de electricidad que les sea requerida en los términos de su contrato de concesión”. Por lo tanto, en este trabajo también se utiliza una orientación input.

Una orientación input permite conocer cuanto es la máxima contracción proporcional (contracción radial) del vector de inputs utilizado por la firma manteniendo el nivel de producción constante. Mientras que una orientación output, identifica la máxima expansión proporcional del output para un dado vector de insumos utilizado por la firma constante.

En primer lugar se define la tecnología de producción de la firma. En este caso el conjunto, $L(y)$ ⁴, de todos los vectores de inputs, $v \in \psi$, que permiten producir un vector de producción $y \in \psi$. Es decir,

$$L(y) = \{ v \in \psi: v \text{ puede producir } y \} \quad (1)$$

La función distancia se define como la máxima contracción proporcional en el vector input v que aún permite producir en el vector y , es decir:

$$D(v, y) = \text{máx} \{ \rho: (v/p) \hat{\alpha} L(y) \} \quad (2)$$

De las propiedades de la tecnología de producción se derivan otras propiedades para la función distancia: $D(v,y)$ es no creciente en y ; no decreciente, linealmente homogéneo +1 y cóncavo en v .

Además $D(v, y) \geq 1$ si $x \hat{\alpha} L(y)$ y $D(v, y) = 1$ si x se encuentra en el límite interior de $L(y)$, es decir la firma es eficiente.

La literatura dedicada a la medición de eficiencia y productividad de las firmas puede organizarse en dos grandes grupos según la metodología utilizada para definir la tecnología de producción de la firma. Un gran grupo que utiliza métodos paramétricos: fronteras estocásticas (Aignet, et al, 1977) y fronteras determinísticas (Aigner y Chu, 1968). Y otro grupo que utiliza métodos no paramétricos: *Data Envelopment Analysis* (Charnes et al, 1978) y Free Disposable Hull (Deprins et al, 1984).

Como se dijo anteriormente, en la presente investigación se utilizan métodos paramétricos. Usualmente en las estimaciones paramétricas de fun-

4. Se asume que la tecnología satisface las propiedades enumeradas en Färe y Primont (1995).

ciones de producción se utilizan dos tipos de funciones: la función translogarítmica y la función Cobb Douglas.⁵ La función translogarítmica tiene la ventaja de su mayor flexibilidad; es una aproximación de Taylor de segundo orden a cualquier función continua de producción (Klein, 1953). Como se sabe, la desventaja de este tipo de función es la pérdida de eficiencia (si se tratan de variables irrelevantes), siendo este problema más importante cuando el número de datos es reducido.

La función distancia translogarítmica para un vector de producción $y \in \varepsilon$ y de insumos $v \in \varepsilon$ queda definido como:

$$\begin{aligned} \ln Di = & \alpha_0 + \sum_{n=1}^N \alpha_n \ln y_n^{i,t} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^N \alpha_{nk} \ln y_n^{i,t} \ln y_k^{i,t} \\ & + \sum_{m=1}^M \beta_m \ln v_m^{i,t} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^M \beta_{ml} \ln v_m^{i,t} \ln v_l^{i,t} \\ & + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \delta_{nm} \ln y_n^{i,t} v_m^{i,t} + \theta_i t + \frac{1}{2} \theta_{ii} t^2 + \sum_{n=1}^N \theta_{in} \ln y_n^{i,t} t \\ & + \sum_{m=1}^M \theta_{im} \ln v_m^{i,t} t + \sum_{c=1}^C \gamma_c \ln C_c^{i,t} + \varepsilon^{i,t} \end{aligned} \quad (3)$$

Se modela una función de producción estocástica, ya que se incluye un término de error. Dicho término $\varepsilon^{i,t}$ es una variable aleatoria que da cuenta del ruido estadístico. La variable temporal es incluida para captar el progreso tecnológico (*frontier shift*). Si bien esta especificación con una tendencia determinística puede resultar poco realista, es la más utilizada en la práctica. La forma de modelar el progreso tecnológico es a través de la variable de primer y segundo orden, además de interactuar con el logaritmo de las variables insumos y productos (permitiendo mayor flexibilidad respecto de una especificación neutral a la Hicks (Hicks, 1932)). Esta especificación es presentada en Coelli, et al. (2005) y en Hussain, et al. (1999).

5. Otras funciones de producción comúnmente utilizadas son la Cuadrática, Cuadrática Normalizada, Leontieff Generalizada y CES (Constant Elasticity Substitution) (Coelli et al (2005).

7. "Como muchos autores sostienen, incluir una tendencia determinísticas en la función de producción puede no ser perfecto, pero es una alternativa tratable con algunas ventajas significativas (simplicidad analítica y econométrica) frente a otras especificaciones" Farsi, Fetz y Filippini (2007: pp. 10).

Además, Coelli, y Perelman (1999) sugieren la posibilidad de que las variables de contexto afecten a la Frontera de Posibilidades de Producción (FPP) de la firma o el grado de ineficiencia técnica de la misma. Si bien es posible modelar estas variables a través del término de ineficiencia de las mismas,⁷ en este caso se cree más conveniente incluir por afuera de la ineficiencia, ya que se estima que estas variables no afectan la ineficiencia sino su frontera de producción.⁸

A partir de los trabajos (Loza, et al, 2003) y (Margaretic, Romero, 2007)⁹, un modelo para tres insumos y tres outputs, donde la parametrización translog de la función de distancia de inputs para un panel de N firmas observadas durante T períodos, es:

$$\begin{aligned}
 d^{i,t} = & \alpha_0 + \sum_{m=1}^3 \varpi_m y_m^{i,t} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^3 \varpi_{mn} y_m^{i,t} y_n^{i,t} + \sum_{k=1}^3 \beta_k x_k^{i,t} \\
 & + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \beta_{kj} x_k^{i,t} x_j^{i,t} + \sum_{k=1}^3 \sum_{m=1}^3 \delta_{km} x_k^{i,t} y_m^{i,t} \\
 & + \theta_1 t + \frac{1}{2} \theta_{11} t^2 + \sum_{k=1}^3 \zeta_k x_k^{i,t} t + \sum_{m=1}^3 \varsigma_m y_m^{i,t} t, \quad (4) \\
 & i=1, \dots, N; t=1, \dots, T.
 \end{aligned}$$

donde d , x e y son el logaritmo natural de la distancia, los inputs y los outputs, respectivamente. Para poder observar los efectos temporales, es común introducir alguna variable de tendencia (primer y segundo orden), t , que asimismo interactúa con los logaritmos de los inputs y outputs.

Las restricciones que se requieren para la homogeneidad de grado uno en inputs y para la simetría son respectivamente:

$$\sum_{k=1}^3 \beta_k = 1; \sum_{j=1}^3 \beta_{kj} = 0, k=1,2,3; \sum_{k=1}^3 \delta_{km} = 0, m=1,2,3; \sum_{k=1}^3 \zeta_k = 0, \quad (5)$$

y:

$$\varpi_{mn} = \varpi_{nm}, m, n=1,2,3; \beta_{kj} = \beta_{jk}, k,j=1,2,3 \quad (6)$$

7. En este caso estaría a la izquierda de la ecuación como un componente de la distancia, la cual mide la ineficiencia de la firma.

8. Esta especificación se encuentra modelada para datos de panel por Battese y Coelli (1995).

9. Dicho modelo está normalizado por uno de los inputs. En el presente trabajo, el input es el empleo (x_3) y por ende será la variable que figurará como explicada.

De esta manera, se impone la condición de homogeneidad mediante la normalización de la función con uno de los inputs (en este caso x_3), llegando a :

$$\begin{aligned}
 -x_3^{i,t} = & \alpha_0 + \sum_{m=1}^3 \varpi_m y_m^{i,t} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^3 \varpi_{mn} y_m^{i,t} y_n^{i,t} + \sum_{k=1}^2 \beta_k x_k^{*i,t} \\
 & + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \beta_{kj} x_k^{*i,t} x_j^{*i,t} + \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \delta_{km} x_k^{*i,t} y_m^{i,t} + \sum_{h=1}^2 \psi_h z_h^{i,t} \\
 & + \theta t + \frac{1}{2} \theta_{tt} t^2 + \sum_{k=1}^2 \zeta_k x_k^{*i,t} t + \sum_{m=1}^3 \varsigma_m y_m^{i,t} t + \varepsilon^{i,t} \quad (7)
 \end{aligned}$$

Siendo, $\varepsilon^{i,t} = v^{i,t} - u^{i,t}$

Donde $x_k^* = x_k - x_3$, los z_h s son el logaritmo natural de las variables ambientales y donde se ha reemplazando el término de distancia $-d^{i,t}$ por el error compuesto $e^{i,t} = v^{i,t} - u^{i,t}$. Para la estimación se asume generalmente en la literatura que los errores se distribuyen en forma independiente, entre ellos y respecto de los regresores. No obstante, la distribución supuesta para $u^{i,t}$ ha sido ampliamente debatida en la literatura académica. Existen diferentes opciones en cuanto a su modelización. La literatura de fronteras estocásticas, con datos de corte transversal empieza con Aigner et al. (1977) donde se asume una distribución half-normal. Luego se propusieron otras especificaciones como normal-exponencial y normal-gamma [Greene, (1980)]. Stevenson (1980) propuso una normal truncada, argumentando que la media cero de la distribución half-normal era muy restrictiva. Una práctica habitual es la de estimar ambos modelos y testear la primera opción como un modelo restringido.

En este trabajo se cuenta con un panel de firmas. Trabajar con datos de panel implica ciertas ventajas [Coelli, et al. (2005)]:

- Amplía el número de datos, lo cual mejora la confianza en la estimación.
- Relaja algunos supuestos respecto acerca de la distribución de $\mu^{i,t}$ necesarios para identificar la ineficiencia del ruido estadístico.
- Obtiene estimadores consistentes de las ineficiencias técnicas. Bajo algunos supuestos, permite eludir el problema de la dimensionalidad [Schmidt y Sickles, (1984)]. A diferencia del caso con corte transversal, donde a cada observación se le agrega un coeficiente de ineficiencia extra para estimar, con datos de panel incrementar el número de periodos implica incrementar la información para estimar, permitiendo una reducción de la varianza del estimador.

En cuanto a la especificación del término de error con datos de panel, se puede clasificar las estructuras de acuerdo a si $\mu^{i,t}$ es variable en el tiempo o no.

En este caso se modela una función de producción con niveles de eficiencia variables en el tiempo, bajo la especificación sugerida por Battese y Coelli (1992). Donde:

$$\mu^{i,t} = \exp[-\eta(t-T)] \mu^i, \text{ con } \mu^i \text{ i.i.d. } | N(0, \sigma_u^2) \text{ ó } \mu^i \text{ i.i.d. } N^+(\mu, \sigma_u^2) \quad (8)$$

Esta estructura tiene solo un parámetro desconocido¹⁰, κ^{11} , y por ello mismo es muy restrictiva. Esto implica para todas las firmas idéntico, comportamiento tendencial del nivel de eficiencia. Una limitación resultante es que no permite cambios en el ranking de las firmas en relación a su nivel de eficiencia.¹² En cuanto a su comportamiento tendencial en el caso que κ sea positivo, el nivel de eficiencia aumenta a través del tiempo, mientras que si κ es negativo se reduce (además, es convexa para todo κ).

Existen otras alternativas en la especificación de $\mu^{i,t}$:

$$\begin{aligned} u^{i,t} &= [1 + \exp(\alpha t + \beta t^2)]^{-1} u^i && \text{Kumbhakar (1990)} \\ u^{i,t} &= -\alpha_{i1} - \alpha_{i2}t + \alpha_{i3}t^2 && \text{Cornwer, et al. (1990)} \\ u^{i,t} &= -\exp[-\kappa_i(t-T)] u^i && \text{Cuesta (2000)} \end{aligned}$$

Cabe aclarar que el modelo propuesto por Cuesta (2000) es un modelo restringido de Battese y Coelli (1992), con tendencia determinística variable entre las firmas.

Por último, existe otra posibilidad. La misma consiste en incluir las variables exógenas en el término de ineficiencia. Coelli, et al. (1999) plantean el debate en la literatura de medición de ineficiencia en las firmas. Algunos autores sugieren que las variables ambientales afectan la tecnología de producción y, por eso, estos factores deberían ser incluidos directamente en la función de producción. Sin embargo, otros autores señalan que los factores ambientales afectan el grado de ineficiencia de la firma y por lo tanto los mismos deben ser considerados en la distribución de $\mu^{i,t}$. Esta es la especificación sugerida por Battese y Coelli (1995) que enriquece modelos previos planteados por Pitt and Lee (1981) y Kalirajan (1981), los cuales realizaban

10. También E (π^t).

11. En el caso que se suponga normal truncada también debe estimarse π

12. Si $\pi^t - \pi^{t+1}$ para algún $t \Rightarrow \pi^t - \pi^{t+1} \forall t$

una estimación en dos etapas¹³. Battese y Coelli (1995) especifican que $\mu^{i,t}$ se distribuye en forma independiente (pero no idéntica), con una distribución no negativa normal truncada:

$$\mu^i \text{ distribuido } N^+(\sum_{l=1} \omega_l c_l^{i,t}, \sigma_u^2) \quad \text{Battese y Coelli (1995)}$$

En este estudio se adopta la especificación de Battese y Coelli (1992). Se considera que las características de la demanda a satisfacer por la firma implican cambios en la frontera de posibilidades de producción y no cambios en los niveles de eficiencia relativos de la firma.

En síntesis, en este trabajo se estima un modelo paramétrico de una función distancia con orientación input, basada en una frontera de producción estocástica a través de máxima verosimilitud, con una especificación del término de error sugerida por Battese y Coelli (1992).

Por último hay dos cuestiones que hay que tomar en cuenta. La primera es que para que las estimaciones de las funciones distancias resulten consistentes, las variables explicativas no deben estar correlacionadas con el término de error. En caso contrario las estimaciones resultan inconsistentes, y se debería estimar mediante variables instrumentales [ver Atkinson et al. (1998) y Coelli et al. (2005)]. La segunda cuestión es que las funciones distancia tampoco están dispensas de inconvenientes, entre las cuales se encuentra el hecho de que suponen que el ratio entre insumos permanece constante, lo cual implica que ante un shock el mismo puede afectar el nivel de los insumos, pero no así el ratio de utilización de los mismos. Esto es solo válido si los inputs son perfectamente flexibles.

V. TESTEO DE HIPÓTESIS EN LA ESTIMACIÓN ECONOMETRICA

Si los errores se distribuyen normalmente, o si el tamaño de muestra es grande, podemos testear hipótesis respecto a un coeficiente utilizando un test-t. Sea β_k el elemento k -ésimo del vector β y sea c una constante conocida. Para testear $H_0: \beta_k = c$ respecto a $H_1: \beta_k \neq c$ se utiliza el test estadístico

$$t = \frac{b_k - c}{se(b_k)} \sim t(I-K) \quad (9)$$

Donde b_k es el estimador para β_k y $se(b_k)$ es el estimador para su error

13. Lo cual generaba una inconsistencia contra el supuesto previo realizado respecto de $u^{i,t}$ esté i.i.d (idéntica e independientemente distribuida).

estándar. Por lo que entonces, se rechaza H_0 a un nivel de significatividad del $100\alpha\%$ si el valor absoluto del test estadístico es mayor que el valor crítico $t_{1-\alpha/2}(I-K)$. Si la hipótesis alternativa es $H_1: \beta_k < c$, entonces se rechaza la H_0 si el estadístico t es mayor que $t_{1-\alpha/2}(I-K)$.

A veces se desea realizar una prueba conjunta referente a varias hipótesis sobre los coeficientes. Por ejemplo, un test interesante llamado “Test de significatividad de la regresión”, tiene como objetivo testear la hipótesis nula conjunta de que todos los coeficientes de la regresión son nulos. Todos se sustentan en la idea de que si las restricciones específicas bajo la hipótesis nula son verdaderas entonces nuestras estimaciones restringidas y no restringidas de β deberían ser muy próximas (puesto que nuestros estimadores restringidos y no restringidos son ambos consistentes). Entre otras cosas, esto implica que:

1. La diferencia entre las sumas de los residuos cuadrados obtenidos de los modelos restringidos y no restringidos deberían ser cercanos a cero. Una medida de esta proximidad es el estadístico F

$$F = \frac{(SSE_R - SSE_U)/J}{SSE_U/(I-K)} \quad (10)$$

Donde SSE_R y SSE_U son las sumas de los residuos cuadrados restringidos y no restringidos y J es el número de restricciones. Se rechaza H_0 al nivel de significatividad $100\alpha\%$ si el estadístico F supera el valor crítico $F_{1-\alpha}(J, I-K)$.

2. El valor de la función de log-verosimilitud evaluada en las estimaciones no restringidas deberían ser próximas a cero respecto al valor de la función log-verosimilitud evaluada en las estimaciones restringidas. Una medida de esta proximidad es el ratio estadístico de verosimilitud:

$$LR = -2[\ln L_R - \ln L_U] \sim \chi^2(J) \quad (11)$$

Donde $\ln L_R$ y $\ln L_U$ denotan los valores maximizados de las funciones log-verosimilitud restringidos y no restringidos y J es el número de restricciones. Se rechaza H_0 al nivel de significatividad $100\alpha\%$ si el LR supera el valor crítico $\chi_{1-\alpha}^2(J)$.

Otros procedimientos alternativos pero que requieren la estimación de sólo un modelo son los tests de Wald (W) y el Multiplicador de Lagrange

15. Cabe señalar, que como esta variable depende de la tasa de interés de referencia y la misma absorbe la información sobre los shocks cambiarios, en algunos períodos presenta gran variabilidad.

(*LM*) [ver Greene (2008)]. Todos los test anteriores son justificados asintóticamente. Además, los tests *F*, *LR*, *W* y *LM* son equivalentes asintóticamente. Por lo que, si la muestra es lo suficientemente grande, entonces los cuatro tests deberían producir los mismos resultados.

VI. TESTS DE HIPÓTESIS EN FRONTERAS ESTOCÁSTICAS

Todos los procedimientos de las pruebas descritas anteriormente están disponibles para el testeo de hipótesis concernientes a β . Los tests estadísticos *LR*, *W* y *LM* sólo son justificados asintóticamente. Por lo tanto, estrictamente hablando, sólo son confiables cuando la muestra es grande. Los tests *t* y *F* no se justifican en pequeñas muestras debido a que el error compuesto en el modelo de frontera estocástica no está normalmente distribuido (estos tests sólo son justificados asintóticamente). Además de testear hipótesis referentes a β , es interesante evaluar si existe realmente efectos de ineficiencia. En el caso de los modelos half-normal y exponencial, la hipótesis nula es una sola restricción que involucra a un único parámetro. Si el modelo ha sido estimado utilizando el método de máxima verosimilitud, se puede testear un hipótesis usando un test *z* simple (debido a que los estimadores *LM* no restringidos están asintótica y normalmente distribuidos).

No obstante, Coelli (1995) proporciona evidencia (utilizando simulación de Monte Carlo) sobre el test *z*. El mismo tiene poca potencia con pequeñas muestras (es decir, tiende a rechazar incorrectamente la hipótesis nula con más frecuencia de lo que se debería). Además, la maximización numérica de la función de verosimilitud puede producir estimaciones poco fiables de las matrices de covarianza y, consecuentemente, de errores estándar. Por estas razones, la literatura especializada en fronteras estocásticas utiliza los tests de *W* y *LR*.

VII. DATOS

La estimación de la función de distancia se realiza utilizando un panel de 25 empresas distribuidoras de energía de la República Argentina, para el período 2001-2011. Para la elaboración del ranking de eficiencia técnica y el análisis de comparación entre “privadas” y “públicas”¹⁴, se toman las siguientes veinticinco empresas distribuidoras eléctricas (Tabla 1).

14. Las empresas que no formarán parte de este análisis serán: SPSE, DPE, DGSP, APELP, DECSA (Distribuidora Eléctrica de Caucete de San Juan) y EJSSESA (Empresa Jujeña de Sistemas Energéticos Dispersos S.A.)

Tabla 1. Listado de empresas estudiadas

Empresas	Siglas
Dirección Provincial de Energía de Corrientes	DPEC
Empresa Distribuidora de Energía Atlántica S.A.	EDEA
Energía de Catamarca S.A. con Participación Estatal Mayoritaria	EC SAPEM
Empresa Distribuidora de Energía La Plata S.A.	EDELAP
Empresa Distribuidora de Electricidad de La Rioja S.A.	EDELAR
Empresa Distribuidora de Electricidad de Mendoza S.A.	EDEMSA
Empresa Distribuidora de Energía Norte S.A.	EDEN
Empresa Distribuidora y Comercializadora Norte S.A.	EDENOR
Empresa Distribuidora Sur S.A.	EDESUR
Empresa Distribuidora de Energía Sur S.A.	EDES
Empresa Distribuidora de Energía de Salta S.A.	EDESA
Empresa Distribuidora de Electricidad de San Luis S.A.	EDESAL
Empresa Distribuidora de Electricidad de Santiago del Estero S.A.	EDESE
Empresa Distribuidora de Electricidad del Este S.A.	EDESTE
Empresa de Energía Río Negro S.A.	EDERSA
Empresa de Distribución Eléctrica de Tucumán S.A.	EDET
Empresa Jujena de Energía S.A.	EJESA
Electricidad Misiones S.A.	EMSA
Energía de Entre Ríos S.A.	ENERSA
Empresa Provincial de Energía de Córdoba	EPEC
Ente Provincial de Energía del Neuquén	EPEN
Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe	EPE
Energía San Juan	ESJ
Recursos y Energía Formosa S.A.	REFSA
Servicios Energéticos del Chaco Empresa del Estado Provincial.	SECHEEP

Fuente: Elaboración propia en base a la Secretaría de Energía y ADEERA.

Con respecto a los datos que se cuentan para las veinticinco empresas distribuidoras eléctricas del país, fueron obtenidos principalmente de la Secretaría de Energía de la Nación y de la Asociación de Distribuidores de Energía Eléctrica de la República Argentina (ADEERA) (Tabla 2).

Ouputs: Existen numerosos estudios de eficiencia y cambios en la productividad de las distribuidoras de energía eléctrica. El 62% de los trabajos estiman funciones de producción. Asimismo, el 95% utilizan a la energía

Tabla 2. Definición de las variables utilizadas

Área	Área de la concesión en km ² al 31 de diciembre
Clientes*	Cantidad total de clientes del distribuidor al 31 de diciembre
Dotación (Empleo)	Número de empleados y trabajadores propios de cada distribuidora al 31 de diciembre
Energía Vendida*	Total de energía facturada en valores expresados en MWh (suma de los valores correspondientes a la energía vendida a clientes finales, a la energía transportada por el servicio de PAFTT a GUMAs, GUMEs y GUPAs; y a la energía suministrada a las cooperativas clientes) al 31 de diciembre.
Líneas**	Total de kilómetros de línea de baja, media y alta tensión aéreas y subterráneas al 31 de diciembre
Potencia	Sumatoria de las potencias de los centros de transformación MT/BT (cámaras + plataformas urbanas y rurales) al 31/12. No incluye las SSEE de AT/MT, ni los centros de distribución I/O Centros de rebaje
Potencia Máxima	Potencia máxima total demandada, transportada y/o distribuida por las redes del distribuidor registrado en el año en MV (incluye la del servicio PAFTT a GUMAs, GUMEs y GUPAs)
Pérdidas	Relación de pérdidas totales, como la suma de las pérdidas técnicas y no técnicas, respecto al total de la energía operada
Centros de Transformación	Cantidad de centros de transformación MT/BT (cámaras + plataformas urbanas y rurales) al 31/12. No incluye las SSEE de AT/MT, ni los centros de distribución I/O Centros de rebaje

Fuente: Elaboración propia en base a ADEERA. Nota: *Se cuenta con información desagregada según sea residencial, comercial e industrial. **Se cuenta con información desagregada conforme al tipo de líneas: baja, media y alta tensión

vendida como output, y el 71% al número de clientes. Los kilómetros de líneas de la red de distribución y el área servida son los restantes outputs más utilizados, aunque esta última en algunos casos es utilizada como variable de contexto. Finalmente, el 77% de los trabajos identificados, utilizan más de un output. Esto es importante, ya que es una de las razones de la adopción de una función distancia en la estimación.

Inputs: Con respecto al input relacionado al insumo trabajo, el número de empleados es la variable utilizada con mayor frecuencia. Respecto de las variables relacionadas al insumo capital existe mayor controversia; las

variables más frecuentes son los kilómetros de líneas y la capacidad instalada en transformación (potencia instalada). De aquellos papers que estiman funciones de producción: el 84% de los mismos utilizan el número de empleados como insumo relacionado al insumo trabajo; el 77% los kilómetros de líneas y un porcentaje similar el número de transformadores o la capacidad instalada como variables relacionadas al insumo capital.

Variables ambientales: Dentro de este grupo de variables el área servida y alguna medida asociada a la estructura de la demanda (consumo medio o share de los residenciales sobre la venta total de energía) se identifican como variables exógenas que afectan a la productividad de la firma. Además, aquellos trabajos que utilizan datos de firmas de distintos países también incluyen el PBI per cápita. Por último, Estache et al. (2002) sostiene que en el caso de disponibilidad de datos también se suele incluir variables que midan la calidad, como por ejemplo: condiciones de seguridad, pérdidas técnicas y fallas.

En la presente investigación, los productos que se utilizaron fueron las ventas de energía total facturada en valores expresados en MWh; la cantidad total de clientes del distribuidor al 31 de diciembre de cada año y el área de la concesión en kilómetros cuadrados. Mientras que como medidas de inputs, se utilizaron: el número de empleados, la capacidad instalada en transformación y, por último, los kilómetros de líneas (suma de kilómetros en baja, media y alta tensión).

En la distribución de energía eléctrica los principales insumos de capital son la longitud de las líneas de distribución y el número de transformadores. Esta última variable, sin embargo, puede presentar problemas de homogeneidad, teniendo en cuenta que los transformadores pueden ser de diferentes clases y tamaños. Por esta razón, junto con la longitud de las redes de distribución, se utilizará la capacidad total de los transformadores de cada empresa, medidos en MVA (megavoltiamperios), la cual es una medida homogénea para las diferentes empresas. Como variable ambiental se utiliza el porcentaje de energía vendida a clientes residenciales (sobre el total de energía vendida). Sin embargo, también se plantean otras alternativas: se excluye la variable capacidad de transformación (debido a problemas de medición) y se utiliza el número de clientes por kilómetro cuadrado como variable ambiental en reemplazo del área servida como output. En el proceso de renegociación tarifaria esto puede ser un motivo de conflicto entre las partes (la concesionaria y el organismo regulador), y es por esta razón que

obtener resultados similares es muy importante a los fines prácticos de las estimaciones, ya que implica menores grados de libertad en la negociación.

VIII. RESULTADOS

De acuerdo a la metodología planteada en el presente artículo y según la revisión de antecedentes y trabajos empíricos anteriores, los modelos estimados se presentan en dos variantes: i) Incluir el área de Servicio como variable de output o como variable de contexto a través de número de clientes por Km². ii) Excluir del modelo la variable potencia instalada (utilizada como input en los modelos 1 y 3), debido a sospechas de problemas de medición en la base utilizada. De lo mencionado surgen cuatro modelos alternativos presentados en la Tabla 3.

Tabla 3: Modelos Estimados

	Output	Input	Variables “ambientales”
Modelo 1	Área, Número de Clientes, Venta Total de Energía	Dotación, Total de Líneas, Potencia Instalada.	% Energía Vendida a Residenciales.
Modelo 2	Área, Número de Clientes, Venta Total de Energía.	Dotación, Total de Líneas.	% Energía Vendida a Residenciales.
Modelo 3	Número de Clientes, Venta Total de Energía.	Dotación, Total de Líneas, Potencia Instalada.	% Energía Vendida a Residenciales, Clientes por km ² .
Modelo 4	Número de Clientes, Venta Total de Energía.	Dotación, Total de Líneas.	% Energía Vendida a Residenciales, Clientes por km ² .

Fuente: Elaboración propia.

Para la estimación de la función de distancia se utiliza una función translog, la cual es flexible y permite la imposición de homogeneidad.¹⁵ Esto es una desventaja en los contextos donde la cantidad de datos no es elevada, pero dado que en la presente investigación se cuenta con 275 datos, no existen

15. La función translog fue comparada con especificaciones alternativas Cobb-Douglas en muchos papers y estudios del sector de la distribución eléctrica utilizando la prueba de razón de verosimilitud y en todos los casos la tecnología Cobb-Douglas fue rechazada [ver a modo de ejemplo (Melo, Espinosa, 2005), (Danon, 2009)]

motivos a priori para no considerar la utilización de una función translog de una función de distancia. Para derivar la función de verosimilitud se utiliza la parametrización de Battese y Corra (1977), donde $\gamma = \sigma_u^2 / \sigma^2$, con $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_\varepsilon^2$.

La Tabla 4 muestra los resultados de las estimaciones de la función de distancia. Dado que las variables están expresadas en logaritmos, la interpre-

Tabla 4: Resultados de las estimaciones de la función de distancia.

Variable	Modelo 1		Modelo 2	
	Coficiente	z	Coficiente	z
Intercept	-684.307	-63.334*	-110.286	-11.923
ln(y1)	23.780	3.314*	-10.492	-15.053
ln(y2)	16.431	2.100*	-0.249	-0.232
ln(y3)	51.189	7.884*	14.117	12.363
[ln(y1)]^2	0.111	11.073	0.191	2.639*
[ln(y2)]^2	0.078	0.708	0.171	2.161*
[ln(y3)]^2	-0.133	-4.196*	-0.045	-11.817
ln(y1)*ln(y2)	-0.287	-13.820	-0.319	-2.167*
ln(y1)*ln(y3)	-0.186	-3.042*	-0.116	-2.753*
ln(y2)*ln(y3)	0.078	10.937	0.137	1.707**
ln(x1*)	80.979	8.947*	59.381	6.013*
ln(x2*)	-36.350	-4.971*	-	-
[ln(x1*)]^2	-0.183	-3.043*	-25.121	-3.912*
[ln(x2*)]^2	0.038	0.655	-	-
ln(x1*)*ln(x2*)	0.043	0.424	-	-
ln(x1*)*ln(y1)	-0.010	-0.074	-0.237	-4.588*
ln(x1*)*ln(y2)	-0.292	-1.916**	-0.008	-0.190**
ln(x1*)*ln(y3)	-0.250	-5.058*	0.120	14.061
ln(x2*)*ln(y1)	0.012	0.123	-	-
ln(x2*)*ln(y2)	0.153	13.665	-	-
ln(x2*)*ln(y3)	0.159	3.183*	-	-
t	-0.224	-4.562*	0.268	3.008*
t^2	-0.000	-0.966	-0.470	-3.838*
t*ln(y1)	-0.000	-0.078	-0.170	-3.507*
t*ln(y2)	0.013	12.364	-0.221	-3.348*
t*ln(y3)	0.000	0.233	0.374	4.480*
t*ln(x1*)	0.021	3.196*	0.079	2.165*
t*ln(x2*)	-0.015	-2.493*	-	-
ln(z1)	0.130	2.048*	-0.000	-0.039

Tabla 4: Resultados de las estimaciones de la función de distancia (continuación)

Variable	Modelo 3		Modelo 4	
	Coefficiente	z	Coefficiente	z
Intercept	-122.152	-14024	91.631	13.038
ln(y1)	-13.230	-1.915 **	-0.056	-0.076
ln(y2)	-0.047	-0.045	-30741	-2.952 *
[ln(y1)] ²	18.552	1.751 **	11.018	12.026
[ln(y2)] ²	0.174	2.425 *	0.104	14318
ln(y1)*ln(y2)	0.148	1.878 **	0.156	1.886 **
ln(x1*)	-0.067	-1.741 **	-0.053	-14.432
ln(x2*)	-0.274	-1.871 **	-	-
[ln(x1*)] ²	-0.100	-2.400 *	-0.171	-11284
[ln(x2*)] ²	0.117	15.709	-	-
ln(x1*)*ln(x2*)	54.776	6.092 *	-	-
ln(x1*)*ln(y1)	-23.158	-3.671 *	-0.091	-2.147 *
ln(x1*)*ln(y2)	-0.218	-4.308 *	0.106	16065
ln(x2*)*ln(y1)	-0.003	-0.069	-	-
ln(x2*)*ln(y2)	0.107	12434	-	-
t	0.274	3.259 *	10039	1.915 *
t ²	-0.467	-4.129 *	0.024	0.107
t*ln(y1)	-0.151	-3.337 *	-0.144	-3.126 *
t*ln(y2)	-0.209	-3.358 *	-0.026	-0.588
t*ln(x1*)	0.367	4.771 *	0.085	10413
t*ln(x2*)	0.058	15966	-	-
ln(z1)	0.007	1.704 **	0.028	0.501
ln(z2)	-0.000	-2.281 *	-0.000	-0.008

tación que se le da a los coeficientes asociados a cada una de ellas es el de elasticidades. En cuanto al signo esperado de los coeficientes, cabe señalar que en el caso de los productos sería de esperar que el signo fuera negativo, es decir, aumentos en el nivel de alguno/s de los productos genere una reducción en la distancia que observa la empresa analizada respecto a la frontera. Por su parte, el signo esperado para los insumos es positivo. La justificación es la misma que en el caso de los productos, pero en sentido inverso.

Al lado de cada una de los estadísticos z , aparece uno o dos asteriscos de acuerdo a si resulta significativo a un nivel de $\alpha=0.05$ o bien al $\alpha=0.10$ correspondientemente.

Tabla 5: Referencias

Variabes	Concepto
y_1	Energía Vendida
y_2	Número de Clientes
y_3	Área
x_1^*	Líneas
x_2^*	Potencia
z_1	Proporción de Energía Vendida a Residenciales
z_2	Clientes por km ²
T	Variable que indica "tiempo". Toma valor 1, para el año 2001 de estudio, el valor 2 para el año 2002, y así sucesivamente

IX. TESTS

Un primer test evalúa la distribución de los niveles de ineficiencia de las empresas. Es decir, testea si en lugar de emplear el actual modelo normal truncado es adecuado utilizar el modelo half-normal. Puesto que el modelo ha sido estimado usando el método de máxima verosimilitud y la muestra puede ser considerada grande, se puede utilizar el test "Z".

Tabla 6: Test Modelo Normal Truncado vs Modelo Half-Normal

Modelos	z-ratio Test
Modelo 1	4.4921*
Modelo 2	0.4598
Modelo 3	0.3689
Modelo 4	0.7258

Notas: *Significativo al $\alpha=5\%$, con valores críticos correspondientes -1.96 y 1.96.

Al observar la Tabla 6, podemos afirmar que sólo en el Modelo 1 se puede rechazar la hipótesis nula que dice que el modelo half-normal es el adecuado. Por lo tanto, es necesario estimar los modelos 2, 3 y 4 bajo el supuesto de distribución de la ineficiencia half-normal.

Tabla 7: Resultados de los Modelos Half-Normal

Modelo 2 half-normal		
Variable	Coficiente	z
Intercept	-68.345	-0.426
ln(y1)	-43.539	-3.360 *
ln(y2)	19.552	17.530
ln(y3)	19.343	10.137
[ln(y1)] ²	0.340	3.745 *
[ln(y2)] ²	0.201	2.080 *
[ln(y3)] ²	-0.139	-1.847 **
ln(y1)*ln(y2)	-0.491	-2.715 *
ln(y1)*ln(y3)	0.037	0.5997
ln(y2)*ln(y3)	0.089	13.858
ln(x1*)	63.04	6.958 *
[ln(x1*)] ²	-0.208	-6.916 *
ln(x1*)*ln(y1)	0.172	2.216 *
ln(x1*)*ln(y2)	-0.408	-4.973 *
ln(x1*)*ln(y3)	-0.160	-3.696 *
t	0.074	0.964
t ²	-0.001	-2.280 *
t*ln(y1)	-0.019	-3.017 *
t*ln(y2)	0.019	2.895 *
t*ln(y3)	-0.009	-3.294 *
t*ln(x1*)	0.017	4.937 *
ln(z1)	0.062	12.992

Con respecto al modelo 1, aunque los tres outputs resultan ser significativos, ninguno de ellos tiene el signo esperado. Los dos insumos también son significativos estadísticamente pero únicamente "líneas" tiene el signo positivo. Respecto a la tendencia temporal, ésta y su interacción con los insumos resultan significativas. Por último, la variable ambiental es significativa pero no tiene el signo esperado, puesto que la misma tendría que ser negativa, indicando que un aumento del porcentaje de venta a clientes residenciales implicase un movimiento hacia "adentro de la frontera" (que, a su vez, ceteris paribus, indica que si la firma mantuvo su relación insumo-producto, ésta se ha vuelto más eficiente).

Tabla 7: Resultados de los Modelos Half-Normal (continuación)

Variable	Modelo 3 half-normal		Modelo 4 half-normal	
	Coefficiente	z	Coefficiente	z
Intercept	-46.560	-0.975	-40.435	-0.786
ln(y1)	-18.995	-2.296 *	-36.614	-5.691 *
ln(y2)	11.657	11.930	27.014	2.758 *
[ln(y1)] ²	0.139	15.442	0.364	3.828 *
[ln(y2)] ²	0.106	12.481	0.266	2.783 *
ln(y1)*ln(y2)	-0.204	-11.788	-0.571	-2.987 *
ln(x1*)	40.814	4.625 *	42.223	5.133 *
ln(x2*)	-15.378	-2.725 *	-	-
[ln(x1*)] ²	-0.209	-3.675 *	-0.204	-5.066 *
[ln(x2*)] ²	0.006	0.123	-	-
ln(x1*)*ln(x2*)	0.089	0.928	-	-
ln(x1*)*ln(y1)	0.137	11.617	0.185	2.196 *
ln(x1*)*ln(y2)	-0.345	-2.463 *	-0.397	-3.896 *
ln(x2*)*ln(y1)	-0.086	-11.014	-	-
ln(x2*)*ln(y2)	0.224	2.489 *	-	-
t	-0.090	-1.922 **	-0.077	-2.743 *
t ²	-0.001	-2.984 *	-0.001	-2.427 *
t*ln(y1)	-0.000	-0.021	-0.020	-2.691 *
t*ln(y2)	0.005	0.694	0.025	3.260 *
t*ln(x1*)	0.011	2.001 *	0.013	3.466 *
t*ln(x2*)	-0.008	-16.423	-	-
ln(z1)	0.096	1.967 *	0.078	15.455
ln(z2)	-0.197	-6.063 *	-0.299	-6.906 *

En el modelo 2 half-normal, el signo de la elasticidad de la "energía vendida" es el esperado, como así también el signo de la elasticidad del input "total de líneas". En cuanto a la significatividad de los coeficientes, sólo el output "energía vendida" resulta ser significativo, como así también el insumo "líneas". Además, todos los términos cuadrados y el de interacción entre energía vendida y cantidad de clientes, resultan ser significativos estadísticamente. Tanto el término cuadrado del insumo líneas como su interacción con los productos, resultan ser significativos. Con respecto al término que refleja la tendencia, éste resulta no ser significativo. Sin embargo, los términos de interacción de la tendencia con los productos y el insumo, y la tendencia

Tabla 8: Test de Significatividad Conjunta del Modelo

Modelos	LR Test	Valor Crítico al 1%	Valor Crítico al 5%
Modelo 1	5.268.815	11.34	7.81
Modelo 2 HN	6.469.476	9.21	5.99
Modelo 3 HN	5.705.192	9.21	5.99
Modelo 4 HN	6.837.590	9.21	5.99

al cuadrado, sí resultan ser significativos. Por último, la variable ambiental proporción de energía vendida a los residenciales, no resulta ser estadísticamente significativa.

El modelo 3 half-normal no es el adecuado por diversas razones. Entre ellas, podemos afirmar dos cuestiones: a) no hay output que sea significativo y con signo negativo; b) aunque el insumo "líneas" es significativo y tiene el signo esperado, su término cuadrado y la interacción con los demás insumos y outputs no tienen conjuntamente el signo esperado y la significatividad estadística correspondientemente.

En el Modelo 4 half-normal a excepción de la variable ambiental "proporción de energía vendida a residenciales" y el intercepto, todas las variables resultan significativas. Sin embargo, únicamente la energía vendida, las líneas y el término de interacción "líneas" y "energía vendida" tienen el signo esperado.

A modo de conclusión, se puede afirmar que sólo el modelo 2 half-normal es el que mejor se ajusta a los datos. No obstante, para testear la significatividad conjunta del modelo, es decir, la ausencia o no de efectos de ineficiencia, podemos recurrir al test "LR" (likelihood-ratio). En todos los modelos se rechaza la hipótesis nula de que la totalidad de las firmas son eficientes $H_0: \mu = \gamma = \sigma_u^2 / \sigma^2 = 0$.

La eficiencia promedio según cada modelo se muestra a continuación en la Tabla N° 9:

Tabla 9: Eficiencia técnica por tipo de modelo

	Media	Mediana	Desvío Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
Modelo 1	0.6162	0.6162	0.0090	0.6026	0.6296
Modelo 2 HN	0.5501	0.5501	0.0010	0.5486	0.5515
Modelo 3 HN	0.5537	0.5537	0.0135	0.5333	0.5739
Modelo 4 HN	0.4728	0.4728	0.0064	0.4632	0.4825

Otro test importante evalúa la evolución temporal del nivel de eficiencia de las empresas, es decir $H_0: \eta = 0$. Esta hipótesis nula es el modelo presentado por Battese, Coelli y Colby (1989). Al evaluar la variable denominada “ETA”, si el signo es positivo y es estadísticamente significativa, entonces hay evidencia que existen mejoras en la eficiencia técnica a lo largo del tiempo.

Tabla 10: Test de Evolución Temporal del Nivel de Eficiencia de las Firmas

Modelos	z-ratio Test
Modelo 1	-2.2047*
Modelo 2 HN	0.4507
Modelo 3 HN	-4.5247*

Nota: *Significativo al $\alpha=5\%$,

Al observar los resultados, a excepción del modelo 2, los demás sugieren que existieron disminuciones de los niveles de la eficiencia a través del tiempo, en el período 2001-2011 considerado.

Por último, otro test interesante a considerar es aquel que mide los movimientos de la frontera de posibilidades de producción, es decir, los cambios tecnológicos. A excepción del modelo 1, todos los demás modelos presentan cambios tecnológicos y/o no neutrales, puesto que se rechaza la hipótesis nula $H_0: \theta_t = \theta_{it} = \theta_{im} = \theta_{iy}$.

Tabla 11: Test de Cambios Tecnológicos

Modelos	LR=-2[L _R -L _U]	Valor Crítico al 1%	Valor Crítico al 5%
Modelo 1	-295.157	18.48 (7 grados de libertad)	14.07 (7 grados de libertad)
Modelo 2 HN	513.341	16.81 (6 grados de libertad)	12.59 (6 grados de libertad)
Modelo 3 HN	224.717	16.81 (6 grados de libertad)	12.59 (6 grados de libertad)
Modelo 4 HN	309.098	15.09 (5 grados de libertad)	11.07 (5 grados de libertad)

Notas: Test likelihood-ratio (LR); LR es el likelihood del modelo restringido, L_U es el likelihood del modelo sin restringir.

X. RANKING DE EFICIENCIA

Puesto que el resultado del software Frontier 4.1 muestra la estimación de la eficiencia técnica para cada año dentro del período 2001-2011 estudiado, a continuación se presenta un cuadro resumen de la eficiencia técnica media para cada una de las empresas analizadas de acuerdo al tipo de modelo considerado, recordando que el modelo 2 HN es el que mejor se ajusta.

Tabla 12
Eficiencia técnica promedio anual por empresa eléctrica y según modelo

EMPRESA	MODELO 1	MODELO 2 HN	MODELO 3 HN	MODELO 4 HN
DPEC	0.3137	0.2275	0.2994	0.2095
EDEA	0.6395	0.3470	0.4957	0.2982
EC SAPEM	0.6072	0.6097	0.5478	0.4865
EDELAP	0.8993	0.9588	0.9749	0.9671
EDELAR	0.8029	0.9000	0.8249	0.7318
EDEMSA	0.4358	0.2943	0.3222	0.2396
EDEN	0.5194	0.2785	0.3883	0.2238
EDENOR	0.4282	0.4885	0.2441	0.1829
EdERSA	0.8361	0.6788	0.4903	0.3415
EDES	0.7791	0.6297	0.8005	0.6065
EDESA	0.9714	0.8990	0.6429	0.5092
EDESAL	0.6195	0.7812	0.6979	0.7125
EDESE	0.5369	0.4283	0.4011	0.2608
EDESTESA	0.8963	0.6266	0.9824	0.9784
EDESUR	0.6705	0.9635	0.3102	0.2576
EDET	0.4741	0.4206	0.6339	0.5488
EJESA	0.6749	0.5281	0.9124	0.7835
EMSA	0.4746	0.4883	0.5235	0.5485
ENERSA	0.4175	0.3087	0.4837	0.3344
EPEC	0.4834	0.1230	0.2261	0.0997
EPEN	0.7637	0.9732	0.6591	0.8137
EPESF	0.3399	0.0767	0.1498	0.0640
ESJ	0.5700	0.4990	0.5667	0.4453
REFSA	0.9235	0.9791	0.9720	0.9665
SECHEEP	0.3275	0.2430	0.2919	0.2101

Observando la Tabla N° 13, y centrando la atención en el Modelo N° 2 HN, las empresas públicas se encuentran en los últimos puestos del ranking de eficiencia, a excepción de EMSA, que igualmente se encuentra por debajo de la mitad del total de empresas.

Tabla 13: Ranking de Eficiencia Según Modelo Analizado

Empresa	Modelo 1	Ranking	Empresa	Modelo 2	Ranking	Empresa	Modelo 3	Ranking	Empresa	Modelo 4	Ranking
				HN			HN			HN	
EDESA	09.714	1	REFSA	0.9791	1	EDESTESA	0.9824	1	EDESTESA	0.9784	1
REFSA	09.235	2	EPEN	0.9732	2	EDELAP	0.9749	2	EDELAP	0.9671	2
EDELAP	08.993	3	EDESUR	0.9635	3	REFSA	0.9720	3	REFSA	0.9665	3
EDESTESA	08.963	4	EDELAP	0.9588	4	EJESA	0.9124	4	EPEN	0.8137	4
EdERSA	08.361	5	EDELAR	0.9000	5	EDELAR	0.8249	5	EJESA	0.7835	5
EDELAR	08.029	6	EDESA	0.8990	6	EDES	0.8005	6	EDELAR	0.7318	6
EDES	07.791	7	EDESAL	0.7812	7	EDESAL	0.6979	7	EDESAL	0.7125	7
EPEN	07.637	8	EdERSA	0.6788	8	EPEN	0.6591	8	EDES	0.6065	8
EJESA	06.749	9	EDES	0.6297	9	EDESA	0.6429	9	EDET	0.5488	9
EDESUR	06.705	10	EDESTESA	0.6266	10	EDET	0.6339	10	EMSA	0.5485	10
EDEA	06.395	11	EC SAPEM	0.6097	11	ESJ	0.5667	11	EDESA	0.5092	11
EDESAL	06.195	12	EJESA	0.5281	12	EC SAPEM	0.5478	12	EC SAPEM	0.4865	12
EC SAPEM	06.072	13	ESJ	0.4990	13	EMSA	0.5235	13	ESJ	0.4453	13
ESJ	05.700	14	EDENOR	0.4885	14	EDEA	0.4957	14	EdERSA	0.3415	14
EDESE	05.369	15	EMSA	0.4883	15	EdERSA	0.4903	15	ENERSA	0.3344	15
EDEN	05.194	16	EDESE	0.4283	16	ENERSA	0.4837	16	EDEA	0.2982	16
EPEC	04.834	17	EDET	0.4206	17	EDESE	0.4011	17	EDESE	0.2608	17
EMSA	04.746	18	EDEA	0.3470	18	EDEN	0.3883	18	EDESUR	0.2576	18
EDET	04.741	19	ENERSA	0.3087	19	EDEMSA	0.3222	19	EDEMSA	0.2396	19
EDEMSA	04.358	20	EDEMSA	0.2943	20	EDESUR	0.3102	20	EDEN	0.2238	20
EDENOR	04.282	21	EDEN	0.2785	21	DPEC	0.2994	21	SECHEEP	0.2101	21
ENERSA	04.175	22	SECHEEP	0.2430	22	SECHEEP	0.2919	22	DPEC	0.2095	22
EPESF	03.399	23	DPEC	0.2275	23	EDENOR	0.2441	23	EDENOR	0.1829	23
SECHEEP	0.3275	24	EPEC	0.1230	24	EPEC	0.2261	24	EPEC	0.0997	24
DPEC	0.3137	25	EPESF	0.0767	25	EPESF	0.1498	25	EPESF	0.0640	25

a) REFSA (ex EDEFOR-Concesionaria en Formosa) creada en 2010; b) EC SAPEM (ex EDECAT-Concesionaria en Catamarca) Intervenido en 2008, y creada en 2012; c) ENERSA (ex EDERSA-Concesionaria en Entre Ríos) creada en el año 2005. d) EPEN (Neuquén); poco volumen facturado y representativo. EMSA (Misiones), EPEC (Provincia de Córdoba), EPE (Santa Fe), SECHEEP (Chaco); DPEC (Corrientes)

XI. CONCLUSIÓN

Las reformas introducidas en el sector, en la primera mitad de la década de los años noventa, permitieron que en el negocio de la distribución de energía participaran empresas públicas y privadas. En términos de regulación, las evaluaciones comparativas de eficiencia entre empresas pueden contribuir a mejorar las decisiones de los reguladores en la determinación de las fórmulas tarifarias.

Con respecto a los modelos utilizados bajo el marco del análisis de fronteras estocásticas de funciones de producción, sólo el modelo 2 HN es el que mejor se ajusta a los datos. El signo de la elasticidad de la "energía vendida" es el esperado, como así también el signo de la elasticidad del input "total de líneas". En cuanto a la significatividad de los coeficientes, el output "energía vendida" y el insumo "líneas" resultan ser significativos. Además, todos los términos cuadrados y el de interacción entre energía vendida y cantidad de clientes, el término cuadrado del insumo líneas y su interacción con los productos, resultan ser significativos estadísticamente. Acerca del término que refleja la tendencia, éste resulta no ser significativo, pero los términos de interacción de la tendencia con los productos y el insumo, y la tendencia al cuadrado, sí resultan ser significativos. También, la variable ambiental "proporción de energía vendida a los residenciales", no resulta ser estadísticamente significativa. Además, para el modelo 2HN no hay evidencia que existan mejoras en la eficiencia técnica a lo largo del tiempo.

Por último, con respecto a la ubicación en el ranking de eficiencia técnica, las cinco primeras empresas, a excepción de EPEN, son de carácter privado. Las empresas públicas SECHEEP, DPEC, EPEC y EPE, se encuentran en los últimos lugares, a excepción de EMSA que se ubica en el puesto decimoquinto.

XII. REFERENCIAS

- Aigner, D., Lovell, C. y Schmidt, P. (1977). "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models". *Journal of Econometrics*, 6: pp.21-37.
- Aigner, D. y Chu, S. (1968). "On Estimating the Industry Production Function". *American Economic Review*, 58(4): 826-39.

16. Cabe aclarar que la empresa pública REFSA (ex EDEFOR-Concesionaria en Prov. De Formosa) fue creada recién el año 2010.

- Atkinson, S., Färe, R. y Primont, D. (1998). "Stochastics Estimation of Firm Inefficiency Using Distance Functions". Working Paper, Department of Economics, University of Georgia, Athens.
- Battese, G. y Coelli, T. (1995). "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data". *Empirical Economics*, 20: pp.325-332.
- Battese, G. y Coelli, T. (1992). "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India". *Journal of Productivity Analysis*, 3, pp. 153-169.
- Battese, G., Coelli, T. y Colby, T. (1989). "Estimation of Frontier Production Functions and the Efficiencies of Indian Farms Using Panel Data From ICRISAT's Village Level Studies". *Journal of Quantitative Economics*, 5, pp: 327-348.
- Battese, G. y Corra, G. (1977). "Estimation of a Production Frontier Model: With Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia". *Australian Journal of Agricultural Economics*, vol. 21, pp. 169-179.
- Burns, P., y Weyman-Jones, T. (1996). "Cost Functions and Cost Efficiency in Electricity Distribution: A Stochastic Frontier Approach". *Bulletin of Economic Research*, vol. 48(1), pp. 41-64.
- Charnes, A., Cooper, W. y E. Rhodes. (1978). "Measuring the efficiency of Decision Making Units". *European Journal of Operational Research*: vol. 2, n. 6, pp. 429-444.
- Coelli, T, Rao, P., O'Donnell, C. y Battese, G. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. New York, Springer.
- Coelli, T. & Perelman, S. (2000). "Technical Efficiency of European Railways: A Distance Function Approach". *Applied Economics*, vol 32, pp. 1967-1976.
- Coelli, T. & Perelman, S. (1999). "A Comparison of Parametric and Non-parametric Distance Functions: With Application to European Railways". *European Journal of Operations Research*, vol 117, pp. 326-339.
- Coelli, T. (1995). "Estimators and Hypothesis Tests for a Stochastic Frontier Function: A Monte Carlo Analysis". *Journal of Productivity Analysis*, vol. 6, pp. 247-268.
- Cuesta, R. (2000). "A Production Model With Firm-Specific Temporal Variation in Technical Inefficiency: With Application to Spanish Dairy Farms". *Journal of Productivity Analysis*, vol. 13, pp. 139-158.
- Danon, M., (2009). "Estimación de Ganancias de Productividad a Través de Funciones Distancias e Fronteras de Producción Estocásticas: Aplicación a

- Distribuidoras de Energía Eléctrica en Argentina”. XLIV Reunión Anual. Asociación Argentina de Economía Política.
- Deprins, D., Simar, L., y Tulkens, H. (1984). “Measuring Labor Inefficiency in Post Offices”, en Marchand, M., Pestieau, P. and Tulkens, H. (eds.) *The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurements*: pp. 243-267.
- Estache, A., Rossi, M., y Ruzzier, C. (2002). “The case for international coordination of electricity regulation: Evidence from the measurement of efficiency in South America”. World Bank Policy Research Working Paper 2907.
- Färe, R. y Primont, D. (1995). *Multi-output production and duality: Theory and applications*. Kluwer Academic Publishers. London.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M. y Zhang Z. (1994). “Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries”. *The American Economic Review*, vol. 84, n.1, pp. 66-83.
- Färe, R., Grosskopf, S., Lindgren, B. y Roos, P. (1994). “Productivity Developments in Swedish Hospitals: A Malmquist Output Index Approach”. En Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y. y Seiford, L.M. (Eds.). *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*, Boston: Kluwer Academic Publishers: pp. 253–272.
- Färe, R., Grosskopf, S. y Lovell, C. (1994). *Production Frontier*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Farsi, M., Fetz, A. y Filippini, M. (2007). “Benchmarking and Regulation in the Electricity Distribution Sector”. CEPE Working Paper No. 54.
- Greene, W. (2008). *Econometric Analysis*. 6ta ed. Prentice Hall.
- Greene, W.M. (1980). “Maximum likelihood Estimation of Econometric Frontier Functions”. *Journal of Econometrics*, vol.13, n. 1, pp. 27–56.
- Hattori, T. (2002). “Relative Performance of U.S. and Japanese Electricity Distribution: An Application of Stochastic Frontier Analysis”. *Journal of Productivity Analysis*, vol. 18, pp. 269-282.
- Hicks, J. R. (1932). *Theory of Wages*. London: MacMillan.
- Hussain, M; Coelli, T. & Simmons, P. (1999). “An Analysis of the Technical Efficiency of Cotton Farmers in the Punjab province in Pakistan”. Conference (43th), January 20-22, 1999, Christchurch, New Zealand 123815, Australian Agricultural and Resource Economics Society.
- Kalirajan, K. (1981). “An econometric analysis of yield variability in paddy production”. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, vol. 29, n. 3, pp 283-294.

- Klein, L.R (1953). *A textbook of econometrics*. New York: Row Peterson.
- Kumbhakar, S. y Lovell, K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press.
- Kumbhakar, S. (1990). "Production Frontiers, Panel Data and Time-Varying Technical Inefficiency". *Journal of Econometrics*, vol. 46, pp. 201–211.
- Loza, A., Margaretic, P. y Romero, C. (2003). "Consistencia de medidas de eficiencia basadas en funciones de distancia paramétricas y no paramétricas. Una aplicación al Sector de Distribuidoras de Electricidad de la Argentina". XXXVIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política, Buenos Aires.
- Margaretic, P. y Romero, C. (2007). "Estimation of Productive Efficiency based on non-parametric techniques: The case of electricity distribution in Argentina". En Chisari, O. (Ed.) *Regulatory Economics and Quantitative Methods*. E.Elgar: Cheltenham, UK.
- Melo, L. y Espinosa, N. (2005). "Ineficiencia en la distribución de energía eléctrica: una aplicación de las funciones de distancia estocástica". *Revista Ensayos sobre Política Económica*, vol. 49, pp.88-132
- Neuberg, L. (1977). "Two Issues in the Municipal Ownership of Electric Distribution Systems". *Bell Journal of Economics*, No. 8, pp. 303-323.
- Pitt, M. y Lee, L. (1981). "The measurement and sources of technical inefficiency in Indonesian weaving industry". *Journal of Development Economics*, 9, pp. 43–64.
- Schmidt, P. y Sickles, R.E. (1984). "Production frontiers and panel data". *Journal of Business and Economic Statistics*, n. 2, pp. 367–374.
- Stevenson, R. (1980). "Likelihood Functions for Generalized Stochastic Frontier Estimation". *Journal of Econometrics*, vol. 13, n.1, pp. 58-66.