



Altar Día de los Muertos - Ciudad de México

*Determinación del nivel de eficiencia
técnica de las empresas distribuidoras
de energía eléctrica en Colombia
(2004-2010)*

SÍNTESIS

El objetivo del presente trabajo es determinar la eficiencia técnica de las empresas distribuidoras de energía en Colombia, en el periodo 2004-2010, por medio de la estimación de funciones de distancia estocástica orientadas a los productos. Los resultados muestran que el promedio de eficiencia de estas empresas es de 73%; sin embargo, se presentan ineficiencias de carácter técnico, evidenciadas por las diferencias del desempeño de las empresas con respecto a la frontera ideal de producción; también se encontró que las variables ambientales influyen en el desempeño de las empresas.

DESCRIPTORES: Eficiencia, Distribución de energía, Funciones de distancia.

Clasificación JEL: C13, C23, D24, L33, L94, R15

ABSTRACT

The aim of this paper is to determine the technical efficiency of energy distribution companies in Colombia in the period 2004-2010, through estimating stochastic distance functions that are product oriented. The results show that the average efficiency of these companies is of 73%; however, there are technical inefficiencies, highlighted by the performance differences of the companies regarding the ideal production frontier. It was also found that the environmental variables have influence in the performance of company.

DESCRIPTORS: Efficiency, Power Distribution, Distance functions.

JEL Classification: C13, C23, D24, L33, L94, R15

*Determinación del nivel de eficiencia técnica de las empresas distribuidoras de energía eléctrica en Colombia (2004-2010)*¹

Leidy Johana Calvo Ocampo²
Juan Pablo Saldarriaga Muñoz³

Technical efficiency level determination of energy distributors in Colombia (2004-2010)

Primera versión recibida: 17 de enero de 2012. Versión final aprobada el 19 de abril de 2012

Para citar este artículo: Calvo Ocampo, Leidy J., Saldarriaga Muñoz, Juan P. (2012). "Determinación del nivel de eficiencia técnica de las empresas distribuidoras de energía eléctrica en Colombia (2004-2010)". En: Gestión y Región N.º. 13 (Enero-Junio, 2012); pp. 7-28.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de servicios públicos en Colombia sufrió cambios estructurales a partir de 1990, debido a las reformas en materia de privatización que comenzaron a manifestarse. Antes de estas reformas, predominaban las empresas estatales e inversiones de carácter público, una total participación del estado y en ocasiones no había neutralidad en decisiones sobre la fijación de tarifas y cobertura. A pesar de estos cambios y debido a las características de monopolio natural que presentan las empresas de distribución de energía eléctrica a nivel local, persisten problemas de ineficiencia, asociados con costos fiscales y sociales, que impactan directamente al consumidor por incrementos en tarifas, deficiencia en cobertura y calidad del servicio, y la imposibilidad de tener otras opciones de elección, los cuales conllevan al deterioro del bienestar social.

Según Carrington, Coelli y Groom (2002, p.192) las empresas que suministran este servicio pueden explotar dicho poder monopolístico y fijar precios por encima de los costos mínimos; para contrarrestar la explotación de este poder, se hace necesaria la regulación por parte del estado para establecer incentivos a favor del mejoramiento de la eficiencia y la determinación de los precios. En este sentido, se crea en Colombia la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) mediante la Ley 143 de 1994, la cual permite mayores niveles de inversión nacional y extranjera; asimismo, busca incentivar la competencia y la desintegración vertical de las diferentes actividades del sector.

1 *Este trabajo es resultado del proyecto de investigación de Leidy Johana Calvo Ocampo, para optar al título de Economista de la Universidad Católica de Pereira. Una primera versión de la revisión de literatura y marco teórico fue publicado en la revista Graftas disciplinares N.º. 19, bajo el título "Eficiencia de las empresas distribuidoras de energía eléctrica en Colombia: 2000-2010".*

2 *Economista de la Universidad Católica de Pereira. e-mail: johana.calvo@gmail.com*

3 *Economista, Magíster en Economía de la Universidad de Antioquia. Docente de tiempo completo de la Universidad del Tolima. e-mail:jpsaldarriagam@ut.edu.co, jpsaldarriaga@gmail.com*

Además, dicha ley establece que las empresas no podrán tener más del 25% de la capacidad instalada efectiva de generación, comercialización o distribución. Las empresas constituidas con anterioridad a esta ley, pueden continuar desempeñando estas actividades simultáneamente, pero con contabilidades independientes y deben desempeñarse solo en actividades complementarias: distribución, comercialización y generación-comercialización. Sin embargo, por la naturaleza de estas actividades, en los procesos de transmisión y distribución, se siguen presentando monopolios locales, y por tanto, ineficiencias que involucran pérdidas significativas de recursos y falta de efectividad en las medidas de regulación.

Con base en lo anterior, este texto buscará responder a la pregunta: ¿Cuál fue el nivel de eficiencia técnica de las empresas de energía en Colombia en el período comprendido entre los años 2004 y 2010? La pertinencia de la pregunta radica en que la ineficiencia en el sector de energía impacta significativamente en la economía nacional en cuanto a precio y calidad, y como lo afirman Patiño, Gómez y Osorio (2010, p.67), “Medir la eficiencia es importante para que el regulador genere incentivos que estimulen la eficiencia técnica; además, la eficiencia de las empresas que distribuyen energía tiene un impacto social que se traduce en mayor cobertura y menores tarifas”.

Este documento ofrece una revisión de literatura nacional e internacional, y su principal aporte empírico radica en una actualización de la estimación de niveles de eficiencia, hasta el año 2010, dado que el último trabajo, Patiño *et al* (2010), presenta resultados hasta el 2007; este estudio, en cambio, abarca un periodo de tiempo mayor y guarda coherencia con el trabajo de Melo y Espinosa (2005), para los años 1998-2003. De manera adicional, se realiza un ejercicio de ranking de las empresas (ausente en los otros dos trabajos), que permite establecer las posiciones de los mejores y peores desempeños.

Para determinar el nivel de eficiencia técnica de estas empresas, se emplea como método las funciones de distancia estocástica y se estiman tres modelos, siguiendo a Battese y Coelli (1992) y Melo y Espinosa (2005). Como resultado, es destacable que se presentan ineficiencias significativas de carácter técnico; además, se logra determinar que las variables ambientales tienen una gran influencia en el desempeño de las empresas.

El texto consta de tres partes: la primera es un breve marco contextual en el que se realiza una revisión de la literatura; la segunda, presenta la fundamentación teórica y metodológica; y finalmente, se muestran las estimaciones, los resultados y el análisis de los mismos.

El sector eléctrico en Colombia

Según el Sistema Único de Información (SUI), en el año 2010 operaban 33 empresas de distribución de energía eléctrica con servicios de comercialización; además, cuatro de estas empresas prestaban todos los servicios: generación, transmisión, distribución y comercialización. Las empresas de distribución de energía están autorizadas por las resoluciones CREG 058 de 2008 y 189 de 2009 para distribuir electricidad a los usuarios en un sector específico. Teniendo en cuenta que existe monopolio natural por Áreas de Distribución de Energía (ADD), con el ánimo de asegurar una tarifa más cercana a la obtenida en un entorno de competencia perfecta, la CREG establece la siguiente fórmula tarifaria con una vigencia de cinco años⁴ (Resolución CREG 119 de 2007):

$$\text{Costo de Energía} = (G + T + D + PR + R + Cv) * C + Cf$$

Donde G es el Costo de producción; T es el Costo de transporte de transmisión, STN; D es el Costo de distribución, STR y SDL; PR son las Pérdidas reconocidas; Cv son los Costos variables (comercialización); C es el Consumo; y Cf son los Costos fijos (comercialización).

En el estudio sectorial de la SSPD del año 2010, se muestra que el costo de la compra de energía en el mercado mayorista representó el 39,18%; el costo por el uso del Sistema de Transmisión Nacional fue de 5,96%; el costo por uso del Sistema de Distribución, de 38,71%; el costo de comercialización, de 6,24%; las restricciones y servicios asociados a la generación representaron el 2,52%; y el costo de las pérdidas acumuladas y el plan de reducción de pérdidas no técnicas por cada operador de red, se ubicó en un 7,39%. En este sentido, la remuneración a la distribución de energía representa un valor significativo a la hora de determinar el costo de la energía, lo cual se ve reflejado en la factura.

Antecedentes internacionales y nacionales⁵

Existen diversos trabajos a nivel internacional que han abordado el tema con diferentes aproximaciones teóricas y empíricas, como tecnología de producción, función de costos o ingresos, donde se estiman los tipos de eficiencia (eficiencia técnica, asignativa y de costos)⁶. En cuanto a los métodos más usuales para estimar la frontera de producción son los paramétricos, como Frontera Estocástica (SFA) y no paramétricos, como Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés), los cuales, como se mostrara posteriormente, tienen ventajas y desventajas, pero en términos generales, los resultados obtenidos por ambos métodos suelen ser consistentes, y muestran un orden similar de los rankings de las empresas.

⁴ Artículo 126, Ley 142 de 1994.

⁵ Una revisión más amplia de antecedentes se encuentra en Calvo (2012).

⁶ Véase la sección 4 para una definición de estos tipos de eficiencia.

Bosch, Navarro y Giovagnoli (1999) buscan determinar el grado de eficiencia técnica y asignativa del proceso de distribución de energía eléctrica de la Empresa Provincial de Energía de Santa Fe (EPESF) de Argentina, durante los años 1995-1997, para lo cual utilizan el modelo de DEA. En los resultados identifican que la ineficiencia existente es de carácter asignativa, asociada a los altos costos de los recursos empleados, particularmente trabajo, y en consecuencia, hay una carga financiera que deben soportar los consumidores asociada a esta ineficiencia, que se refleja en mayores tarifas.

Hattori (2002) y Estache, Rossi y Ruzzier (2004), estiman el nivel de eficiencia técnica en la distribución de energía eléctrica, a partir de SFA. El primero analiza empresas de Japón y Estados Unidos, para comparar qué empresas de cada país tuvieron un mayor acercamiento a la eficiencia en el periodo de 1982 a 1997; y a partir de una función de distancia orientada a los insumos, encuentra que las empresas japonesas tienen un mayor acercamiento a la eficiencia que las estadounidenses, y que las posibles ineficiencias han aumentado en el tiempo, lo que sugiere la necesidad de una mejor regulación en estos sectores; también observan durante este periodo una leve variación en la tasa anual de cambio tecnológico, lo que evidencia progreso tecnológico. El segundo estudio mide la eficiencia para 39 compañías de distribución de energía en Suramérica (23 privadas y 16 públicas), para el periodo de 1994 al 2000, y se concluye que la competencia es un criterio importante para lograr la eficiencia técnica y mejora la calidad. Por otra parte, las empresas se apropian en mayor medida de los excedentes generados por las mejoras en eficiencia, de tal manera que las ganancias logradas a través de la competencia no se trasladan al consumidor final.

Existen algunos estudios en los cuales se utilizan ambos métodos, SFA y DEA, para contrastar la consistencia⁷ de los rankings; entre estos estudios está el de Loza, Margaretic y, Romero (2003) los cuales miden la eficiencia técnica de 25 empresas de distribución de energía eléctrica en Argentina, para el periodo 1994–2001. Los autores contrastan los resultados de ambos métodos mediante un análisis de consistencia, los resultados obtenidos son satisfactorios y consistentes en el *ranking* de las mejores y peores empresas. También se halló que las medidas de eficiencia son estables en el tiempo, lo cual sugiere que no hay variación significativa de un año a otro.

Para Colombia, Melo y Espinosa (2005) y Patiño et al. (2010), miden la eficiencia técnica en el sector de distribución de energía eléctrica a partir de funciones de distancia orientadas a los productos y a los insumos, respectivamente; ambos utilizando SFA y asumiendo diferentes distribuciones para el término de error compuesto. El primer estudio incluye 20 empresas de distribución para el

7 Con respecto a la primera condición del análisis de consistencia, se deben tener medias y desviaciones estándar similares, segunda condición, que se asocia con los rankings de las empresas, se encuentra que estos son similares y finalmente, el grado de determinación de las mejores y peores empresas

periodo 1999-2003 y el segundo estudia el desempeño de 24 compañías en el periodo 2004-2007. Ambos logran identificar diferencias significativas en el desempeño de las empresas en relación con la producción óptima, evidenciando la existencia de ineficiencias y señalando, entre otras cosas, que si las empresas obtuvieran niveles de operación más eficientes, podrían mejorar sus ganancias. Además, los dos trabajos anteriormente mencionados muestran que factores exógenos, como condiciones geográficas, número de usuarios atendidos y la densidad poblacional, afectan la producción, por lo que hay empresas que se benefician de manera diferente, debido a ubicaciones privilegiadas con mejores entornos de densidad poblacional y mayores consumos. No obstante, las empresas que distan de estas condiciones muestran un mayor desgaste de insumos, lo que finalmente se manifiesta en altos niveles de ineficiencia y desutilidades.

Adicionalmente, Patiño *et al.* (2010) encuentran que no se generó cambio tecnológico en el periodo 2004-2007 y que las variables ambientales determinan la tecnología de producción; por lo tanto, el entorno tiene influencia en el desempeño administrativo de estas empresas.

Medidas de eficiencia

En la década de 1950 se propuso un concepto de eficiencia con el propósito de avanzar en el planteamiento de una definición medible de productividad, que permitiera comparar el desempeño de las empresas y mensurar las productividades de las mismas. Aunque Debreu (1951) da un concepto de eficiencia⁸, es Farrell (1957) quien propone una forma de medir la productividad a través de índices de eficiencia, empleando una aproximación empírica en el sector de la agricultura para ilustrar la relación entre insumos y productos de las empresas.

Farrell reconoce dos formas de abordar la eficiencia: la primera, contempla una relación técnica entre insumos y productos, que consiste en la obtención de la máxima producción para un nivel de insumo dado; sin embargo, aquí no se tienen en cuenta los precios de los factores. Este concepto de eficiencia técnica posteriormente toma dos orientaciones: hacia los insumos o los productos. La eficiencia técnica orientada hacia el producto, indica la máxima expansión de la curva de posibilidades de producción a partir de unos insumos fijos, y en esta se pregunta cuánto puede una empresa aumentar la producción dados unos insumos. Por su parte, la eficiencia técnica orientada a los insumos indica la minimización de éstos manteniendo un producto fijo y se pregunta cuánto puede una empresa disminuir sus insumos para un determinado producto⁹.

⁸ Debreu proporcionó una definición de eficiencia como el coeficiente de utilización de recursos (Farrell 1957, p. 254).

⁹ El producto se mide en cantidades, dado que si se habla de precios de estas cantidades, se haría alusión a una asignación orientada a insumos.

La eficiencia técnica orientada a los insumos se puede visualizar en la figura 1, en donde la isocuanta indica todas las combinaciones posibles de los insumos para una misma cantidad de producción. El punto **R**, que está por encima de la isocuanta, muestra la eficiencia técnica, mientras que el punto **Q** es ineficiente ya que requiere mayor cantidad de insumos para obtener la misma producción del punto **R**.

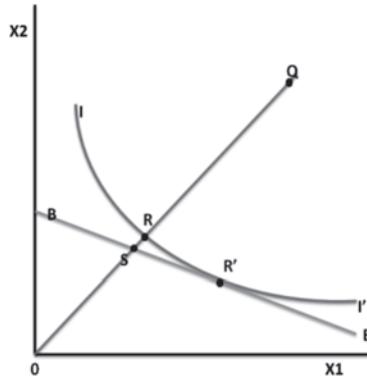


Figura 1. Eficiencia técnica y eficiencia asignativa (Farrell, 1957, p.254)

Para medir la eficiencia técnica del punto **Q** es necesario hallar el cociente entre la distancia del punto **R**, sobre la distancia del punto **0** al punto **Q**.

Farrell (1957, p.254) menciona también que cuando se tienen en cuenta los precios de los factores para una asignación óptima, surge el concepto de eficiencia de precios o asignativa. Para la representación de esta eficiencia, se introduce la recta **BB'** en cuya pendiente se refleja la relación de los precios de los insumos; al tener en cuenta esta nueva recta hay un punto **R'** que es eficiente técnica y asignativamente. Es por esto que no puede existir eficiencia asignativa sin que haya una óptima producción; por consiguiente, para que una empresa sea eficiente asignativamente, primero debe ser eficiente técnicamente. El producto de la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa conforma la eficiencia global o total. Farrell (1957, p. 255) la define como $(OR/OQ) \times (OS/OR)$. A partir de este primer concepto de la forma de medir eficiencia, surgen otros conceptos tales como eficiencia a escala y eficiencia **X**.

Función de producción

La función de producción muestra los niveles de producto que se pueden obtener mediante la combinación de unos insumos; por lo tanto, se encuentra en función de los diferentes insumos requeridos para la producción. La microeconomía enseña que una firma usa **N** insumos para la fabricación de un producto, como puede ser la maquinaria, trabajo, mano de obra, etc., como se muestra en la función (1.1):

$$q = f(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{1.1}$$

Donde la producción (q) está en función de los diferentes insumos. Además, sea $S = (X, q): x$ puede producir q

Las propiedades que debe cumplir la función de producción son¹⁰: q es una función de valor real, no negativa y finita es decir, que la producción es conocida y, como mínimo, es cero; si no hay insumos, no hay producción. La función debe ser creciente en cada uno de sus insumos, es decir, si hay un incremento en uno de los insumos la producción también aumentará. q es cóncava; por lo tanto, cualquier combinación de dos insumos va a generar una producción que no es menor que la producción que se obtendría al combinar, linealmente, las dos producciones iniciales.

Si se cumplen las primeras cuatro propiedades, las isocuantas no se interceptan, las funciones son convexas al origen y la tasa marginal de sustitución técnica muestra la tasa por la cual puede sustituirse x_1 por x_2 para mantener la misma producción y es representada por la pendiente de la isocuanta. Para un tratamiento más amplio, véase Coelli et al. (2005).

Funciones de distancia orientadas los Productos

Las funciones de distancia son usadas para describir la tecnología de producción de manera que sea posible medir la eficiencia y la productividad. Como mencionan Coelli et al. (2005), la definición de funciones de distancia fue introducida de forma independiente por Malmquist (1953) y Shephard (1953) y está relacionada con las fronteras de producción. Estas funciones permiten una descripción para una tecnología de producción multi-producto y multi-insumo, sin necesidad de especificar si los productores están minimizando costos o maximizando beneficios.

La función de distancia orientada al producto es definida sobre el conjunto de productos, $P(x)$, como:

$$d_o(x, q) = \min\{\delta: (q/\delta) \in P(x)\}$$

Las propiedades de la función de distancia orientada a los productos son: $d_o(x, q)$ es no-negativa en x ; es no-decreciente en q y no-creciente en x . Es linealmente homogénea en q ; es convexa en q y cuasiconvexa en x . Si q pertenece al conjunto de posibilidades de producción de x , por lo tanto si $q \in P(x)$, entonces $d_o(x, q) \leq 1$. La distancia es igual a la unidad, $d_o(x, q) = 1$, si q pertenece a la frontera del conjunto de posibilidades de producción (PPC).

¹⁰ Una extensión de esto se puede encontrar en Coelli, Prasada, O'Donnell y Battese (2005) y Kumbhakar & Lovell (2000).

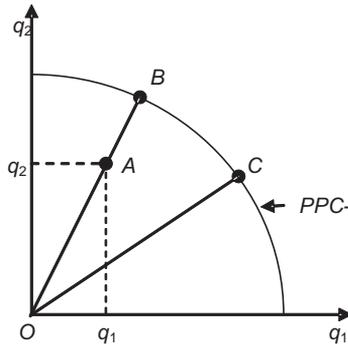


Figura 3. Función de distancia orientada a productos y conjunto de posibilidades de producción (Coelli et al., 2005, p. 48)

La figura 3 ilustra la curva de posibilidades de producción $PPC-P(x)$, la cual relaciona una función de distancia orientada a los productos q_1 y q_2 ; por lo tanto, toda el área que se encuentra entre la frontera de posibilidades de producción ($PCC-P(x)$), y los ejes q_1 y q_2 corresponde al conjunto de posibilidades de producción. Así, entre más cercano esté el punto A del punto B más eficiente será la firma. Matemáticamente, esta relación se puede expresar como $\delta = \frac{OA}{OB}$. El valor de la función de distancia oscila entre 0 y 1, entre más cercano esté a uno, se encontrará más cerca del producto definido por la frontera de posibilidades de producción, de modo que si $\delta = 1$, el producto está definido sobre la curva de posibilidades de producción.

Además, si la tecnología exhibe retornos constantes a escala, la función de distancia orientada al producto es el recíproco de la función de distancia orientada a insumos (véase Coelli, et al, 2005). Dada esta última propiedad, y como lo mencionan Melo y Espinosa (2005), los resultados de eficiencia técnica orientada a insumos o a productos suelen ser similares; así entonces, las estimaciones de las funciones de distancia se realizarán orientadas a productos. A continuación se realizará una breve descripción de las fronteras estocásticas y la forma empírica de estimar las funciones de distancia.

Aproximación metodológica

Autores como Aigner y Chu (1968), Coelli *et al* (2005), Burns & Weyman (1996), Hattori (2002), Estache, Rossi y Ruzzier (2004), Filippinni, Wild & Kuenzle (2001), Melo y Espinosa (2005), Patiño, Gómez, y Osorio (2010), han utilizado el método de frontera estocástica SFA, ya que se ha mostrado que este tiene ventajas respecto a otros como el Análisis Envolvente de Datos. Entre otras cosas, estos enfoques difieren en la presencia o no de un error aleatorio y en la determinación de una forma funcional.

El problema con las fronteras no paramétricas, como el caso de DEA¹¹, es que no tienen en cuenta la medida del error y otras fuentes del ruido estadístico, por lo cual los resultados pueden ir influenciados por estas perturbaciones. Otra desventaja del método DEA es que requiere de muestras grandes y datos muy completos, de modo que las muestras pequeñas son sensibles a la inclusión o exclusión de variables, más aún, por ser un método no paramétrico la aplicación de los test de hipótesis son poco factibles.

Por el contrario, SF Así incorpora el ruido estadístico y lo separa de la ineficiencia. Así mismo, las variables ambientales son más fáciles de tratar y permiten conducir pruebas de hipótesis (Coelli, Estache, Perelman y Trujillo, 2003). De manera que dadas las ventajas de la SFA, frente al DEA, el presente trabajo hallará los niveles de eficiencia a través de SFA, y este enfoque se describirá brevemente en la siguiente subsección.

Análisis de Frontera Estocástica (SFA)

Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y Van den Broeck (1977), simultáneamente introducen el modelo de SFA, que parte de un modelo de frontera paramétrica determinística, impone una hipótesis de carácter distribucional a la desviación entre la frontera y la observación de la empresa, que posteriormente es estimada a través de métodos econométricos (Rodríguez, 2004). Este método permite hallar la eficiencia técnica, reconoce factores fuera de control de producción (como por ejemplo, condiciones climáticas adversas, etc.).

Aigner y Chu usan programación lineal; Afriat (1972) usa el método de máxima verosimilitud; y Richmond (1974) utiliza la técnica de mínimos cuadrados ordinarios corregidos (MOLS) (Coelli et al., 2005, p.254).

Matemáticamente, una frontera estocástica para un producto en función de n insumos, \mathbf{x} , se puede escribir como en la ecuación (2.1), en donde $f(\mathbf{x}_{1i}, \mathbf{x}_{2i}, \dots, \mathbf{x}_{ni}; \beta)$ representa la parte determinística de la frontera; β es un vector de parámetros a ser estimados, \mathbf{v} es una perturbación estocástica que captura los efectos de *shocks* aleatorios propios a cada productor y u es un término de error aleatorio que representa la ineficiencia técnica¹²:

$$q_i = f(\mathbf{x}_{1i}, \mathbf{x}_{2i}, \dots, \mathbf{x}_{ni}; \beta) \exp^{\mathbf{v}_i - u_i} \quad (2.1)$$

11 Como mencionan Rodríguez, Rossi y Ruzzier (2006), el método DEA es no estadístico y utiliza técnicas de programación lineal, no impone ninguna forma funcional, estima la frontera eficiente sin hacer ningún supuesto acerca de la forma de la distribución del término de error; las estimaciones; por lo tanto, no poseen propiedades estadísticas y la prueba de las hipótesis resulta imposible, a diferencia de los modelos paramétricos que, en general, sí lo permiten.

12 Para un tratamiento más extenso de lo expuesto en la presente sección véanse Kumbhakar & Lovell, (2000); Fried, Lovell & Schmidt (1993) y Coelli, Rao, O'donnell & Batesse (2005).

Así, la (in)eficiencia técnica orientada a productos de Farrell, TE, se puede expresar como:

$$TE_i = \frac{q_i}{f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}) \exp v_i} = \exp^{-u_i} \tag{2.2}$$

Específicamente, si las empresas operan con una tecnología tipo Cobb-Douglas, la frontera de producción estocástica se puede escribir como:

$$\ln q_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k \ln x_{ki} + v_i - u_i \tag{2.3}$$

De la ecuación (2.3) se desprende que:

$$q_i = \exp(\beta_0 + \sum_k \beta_k \ln x_i) \times \exp(v_i) \times \exp(-u_i) \tag{2.4}$$

El primer componente de la ecuación (2.4) indica la parte determinística, en la cual se relacionan los insumos; la segunda parte, muestra el componente de error y el último componente está asociado con el término de ineficiencia, el cual está presidido por el signo, que indica que la ineficiencia afecta negativamente a la función.

A modo de ejemplo

En el ejemplo ilustrado en la figura 4 y extraído de Coelli et al (2005), se gráfica la relación insumo-producto de dos firmas, **A** y **B**, donde el componente determinístico muestra la existencia de disminución de rendimientos a escala. Los valores de producción están medidos en el eje vertical y los insumos en el eje horizontal; por lo tanto, x_A indica el nivel de insumos que usa la firma **A**, para producir q_A , y x_B muestra el nivel de insumos que usa la firma **B**, para producir q_B . En caso de que no existan efectos de ineficiencia, entonces u_A y u_B son cero:

$$q^*_{A} = \exp(\beta_0 + \beta_1 \ln x_A + v_A) \quad \text{y} \quad q^*_{B} = \exp(\beta_0 + \beta_1 \ln x_B + v_B) \tag{2.5}$$

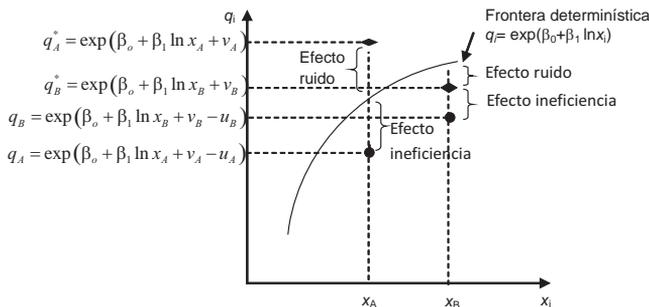


Figura 4. Producción Frontera Estocástica (Coelliet al., 2005, p.244)

La figura 4 ilustra que la producción de la firma A está por encima de la parte determinística de la frontera de producción, porque el efecto del ruido es positivo ($V_A > 0$). Así mismo, se señala que la producción de la empresa A está por debajo de la parte determinística de la frontera, debido a que la suma del ruido estocástico y la ineficiencia tienen efectos negativos ($V_A - U_A < 0$).

Específicamente, la frontera de producción tiende a ser distribuida sobre y por debajo de la parte determinística de la frontera. En efecto, solo puede estar por encima de la parte determinística de la frontera cuando el efecto del ruido es positivo y más grande que el efecto de ineficiencia ($q_i' > \exp(x_i'\beta)$, si $\epsilon_i \equiv v_i - u_i > 0$)

$$ET_i = \frac{q_i}{\exp(x_i'\beta + v_i)} = \frac{\exp(x_i'\beta + v_i - u_i)}{\exp(x_i'\beta + v_i)} = \exp(-u_i). \quad (2.6)$$

La ecuación 2,6 corresponde al cociente de eficiencia técnica orientada al producto; estas medidas toman valores entre cero y uno, en donde una firma i es más eficiente en la medida que ET sea igual a uno, es decir $q_i = \exp(x_i'\beta + v_i)$

Funciones de Distancia

Siguiendo a Coelli y Perelman (2000), Melo y Espinosa (2005) y Patiño, Gómez y Osorio (2010) y Greene (1993), en la función de distancia se puede utilizar una forma translog dado que es flexible y permite imposición de homogeneidad (Coelli y Perelman, 2000, en Melo y Espinosa, 2005, p 26), la cual puede escribirse así:

$$\ln D_{it} = \alpha_0 + \sum_{m=1}^M \alpha_m \ln q_{mit} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \alpha_{mn} \ln q_{mit} \ln q_{nit} + \sum_{k=1}^K \beta_k \ln x_{kit} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^K \beta_{kj} \ln x_{kit} \ln x_{jit} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \delta_{km} \ln x_{kit} \ln q_{mit} + v_{it} \quad (2.7)$$

Donde, $i = 1, 2, \dots, N$, es el número de empresas; $t = 1, 2, \dots, T$, el número de períodos; $m = 1, 2, \dots, M$, representa los M productos de la empresa; y $k = 1, 2, \dots, K$, los K insumos.

Con el objetivo de garantizar las condiciones de homogeneidad y simetría, se requiere imponer las siguientes restricciones:

$$\sum_{k=1}^K \beta_k = 1 \quad ; \quad \sum_{j=1}^K \beta_{kj} = 0 \quad \sum_{m=1}^M \delta_{km} = 0 \quad (2.8)$$

Si se cumple la primer condición en (2.8) y todos β_{ki} y δ_{km} son iguales a cero, la función de producción *translog* se transforma en una *Cobb Douglas* con rendimientos constantes a escala. Para la Simetría, se debe cumplir que:

$$\alpha_{mn} = \alpha_{nm}\beta_{kj} = \beta_{jk}$$

Según Lovellet al. (1994, en Patiño, et al., 2010) las restricciones de homogeneidad implican:

$$D(x, \lambda q) = \lambda D(x, q)$$

Por lo tanto, podemos escribir la función *translog* (ecuación 2.7), con $\lambda = \frac{1}{q_M}$, así:

$$\ln \left(\frac{D_{it}}{q_{Mit}} \right) = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m \ln \left(\frac{q_{mit}}{q_{Mit}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} \ln \left(\frac{q_{mit}}{q_{Mit}} \right) \ln \left(\frac{q_{nit}}{q_{Mit}} \right) + \sum_{k=1}^K \beta_k \ln x_{kit} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^K \beta_{kj} \ln x_{kit} \ln x_{jit} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M-1} \delta_{km} \ln x_{kit} \ln \left(\frac{q_{mit}}{q_{Mit}} \right) + v_{it} \tag{2.9}$$

A fin de hacer la anterior ecuación estimable, la podemos reescribir así:

$$-\ln q_{Mit} = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M-1} \alpha_m \ln \left(\frac{q_{mit}}{q_{Mit}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{M-1} \alpha_{mn} \ln \left(\frac{q_{mit}}{q_{Mit}} \right) \ln \left(\frac{q_{nit}}{q_{Mit}} \right) + \sum_{k=1}^K \beta_k \ln x_{kit} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^K \beta_{kj} \ln x_{kit} \ln x_{jit} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M-1} \delta_{km} \ln x_{kit} \ln \left(\frac{q_{mit}}{q_{Mit}} \right) + v_{it} - u_{it} \tag{2.10}$$

En donde U_{it} es el $\ln(D_i)$ y puede ser interpretado como el término de error que representa la ineficiencia, el cual -entre otras cosas- refleja la diferencia entre el dato observado y los puntos predichos de la función estimada. A modo de ejemplo, podemos escribir la función *translog* para dos insumos y dos productos, que servirá de base para las estimaciones posteriores:

$$-\ln q_{2it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \left(\frac{q_{1it}}{q_{2it}} \right) + \alpha_{11} \frac{1}{2} \left[\ln \left(\frac{q_{1it}}{q_{2it}} \right) \right]^2 + \beta_1 \ln x_{1it} + \beta_2 \ln x_{2it} + \beta_{11} \frac{1}{2} [\ln x_{1it}]^2 + \beta_{12} \ln x_{1it} \ln x_{2it} + \beta_{22} \frac{1}{2} [\ln x_{2it}]^2 + \delta_{11} \ln x_{1it} \ln \left(\frac{q_{1it}}{q_{2it}} \right) + \delta_{21} \ln x_{2it} \ln \left(\frac{q_{1it}}{q_{2it}} \right) + v_{it} - u_{it} \tag{2.11}$$

Adicionándole las variables ambientales, queda¹³:

$$-\ln q_{2it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \left(\frac{q_{1it}}{q_{2it}} \right) + \alpha_{11} \frac{1}{2} \left[\ln \left(\frac{q_{1it}}{q_{2it}} \right) \right]^2 + \beta_1 \ln x_{1it} + \beta_2 \ln x_{2it} + \beta_{11} \frac{1}{2} [\ln x_{1it}]^2 + \beta_{12} \ln x_{1it} \ln x_{2it} + \beta_{22} \frac{1}{2} [\ln x_{2it}]^2 + \delta_{11} \ln x_{1it} \ln \left(\frac{q_{1it}}{q_{2it}} \right) + \delta_{21} \ln x_{2it} \ln \left(\frac{q_{1it}}{q_{2it}} \right) + \theta_1 \ln z_{1it} + \theta_2 \ln z_{2it} + v_{it} - u_{it} \tag{2.12}$$

13 Véase Kumbhakar y Lovell (2000) para el tratamiento de las variables ambientales.

Datos y estimaciones

De acuerdo con la literatura estudiada previamente, se puede resaltar que las variables más utilizadas como proxy de los productos, a fin de explicar la eficiencia técnica de las empresas distribuidoras de energía, son las ventas en Mwh ó GWh en sectores residenciales y no residenciales; y como variables explicativas: Capacidad de transformación, longitud de red y número de empleados (Insumos). Estos trabajos en su mayoría adicionan variables ambientales: densidad de consumo, densidad de clientes y estructura de mercado.

Para lo concerniente a este trabajo, la ecuación a estimar es la (2.12) y en donde q_2 son las ventas al sector residencial; q_1 son las ventas al sector no residencial; x_1 es el número de empleados; x_2 es la longitud de red; z_1 es la densidad de consumidores residenciales y z_2 es la densidad de consumidores no residenciales. La función de distancia es estimada a partir de un panel de 23 empresas de distribución de energía eléctrica, durante el periodo 2004 a 2010. Gran parte de la información se recolectó del Sistema Único de Información (SUI) de la SSPD, y de datos publicados por Ministerio de Minas y Energía (MME). Con respecto a la variable ambiental, esta es calculada a partir de las ventas totales en relación con el número de usuarios.

La tabla 1 muestra que la mayor parte del consumo es residencial, al igual que el número de suscriptores, el promedio de empleados de las empresas distribuidoras de energía corresponde a 558, y el promedio del costo salarial durante el periodo estudiado es de 19.527'966.170; la desviación estándar es muy alta con respecto a la media; esto puede ser explicado por el tamaño de las empresas, dado que existen unas muy pequeñas, con cantidades de insumos mínimos y empresas grandes con mayores cantidades de insumos.

Variables	Observaciones	Media	Desviación estándar
Consumo Residencial (KWH)	149	675529620	1044939376
Consumo No Residencial (KWH)	141	569350540	958605325,9
Suscriptores Residenciales	149	420430	580802,0
Suscriptores No Residenciales	141	37935	57995,9
Empleados	125	558	565,5720256
Salarios + Prestaciones	125	19527966170	24041637326
km de red _n1	102	10344	10851,9
km de red _n2	101	8367	7327,0
km de red _n3	102	765	644,8
km de red _n4	102	469	502,6
Densidad del Consumo Residencial	149	1605,5	883,1
Densidad del Consumo No Residencial	141	16963,3	20669,6
Número de periodos (años)	8		
Número de empresas	23		

Tabla 1. Estadísticas descriptivas des sector (Cálculos propios, basados en SUI).

Resultados de las estimaciones

Para la estimación de los niveles de eficiencia se pueden aplicar diferentes modelos; según Melo y Espinosa (2005), pueden variar por:

- a. Las diferentes distribuciones del término de ineficiencia u_i y error v_i : (véase Coelli 2005, 252 y Greene, 2007)
- b. Los supuestos de la dinámica de la eficiencia: variante o invariante en el tiempo.
- c. El tratamiento de variables ambientales: si afectan o no la tecnología de producción.
- d. En este trabajo se asumirá una distribución *Half-Normal* para el término de error aditivo ($v_{it} - u_{it}$), en la medida en que los resultados de las estimaciones no respaldan asumir una distribución normal truncada¹⁴.

- Half- Normal $v_i \sim N[0, \sigma_v^2] \quad u_i \sim N^+ [0, \sigma_u^2]$
- Normal Truncada $v_i \sim N[0, \sigma_v^2] \quad u_i \sim N^+ [\mu, \sigma_u^2]$

Supuestos¹⁵

Modelo 1	Tecnología de producción es constante en el tiempo y no se incluyen variable ambientales (ecuación 2.11)
Modelo 2	Tecnología de producción es constante en el tiempo y las variables ambientales afectan directamente la tecnología de producción (ecuación 2.12)
Modelo 3	Supone que los niveles de eficiencia pueden variar a través del tiempo y las variables ambientales afectan directamente la tecnología de producción. (Parametrización Battese y Coelli (1992))

Tabla 2: Modelos a estimar. Fuente: elaboración propia.

Las estimaciones de los modelos en la tabla 2 se realizaron utilizando los *softwares* FRONTIER 4.1, R y Stata 12. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 4. Los signos de los coeficientes de insumos muestran una relación negativa entre los insumos utilizados y las ventas de energía, en donde las elasticidades parciales promedio evidencian la presencia de rendimientos decrecientes a escala¹⁶; además, los coeficientes de los términos cuadráticos respecto a los insumos también son negativos (aunque, en general, no son significativos), lo cual es coherente con los resultados arrojados por el estudio de Melo y Espinosa (2005).

¹⁴ Todas las estimaciones de los modelos estimados bajo la normal-truncada arrojan un parámetro estimado de negativo y no significativo.

¹⁵ Los modelos estimados corresponden al 1, 3 y 4 de Melo y Espinosa (2005).

¹⁶ Todas las variables en la estimación fueron normalizadas respecto a su media.

El hecho de que se evidencien rendimientos decrecientes a escala, implica que ante un incremento en la misma proporción en el número de trabajadores y en la longitud de red, la producción de energía se incrementará en una proporción menor que lo hacen los insumos, ya sea por “perdidas de energía”, ineficiencia en la utilización de los insumos o aumentos en la productividad.

Lo anterior puede indicar que un aumento de los insumos no siempre sugiere un aumento de los niveles de distribución de energía, o bien, que una mayor distribución de energía puede estar acompañada de una disminución de la cantidad de insumos utilizados, lo que mostraría incrementos en la productividad.

En cuanto a los coeficientes estimados de las variables ambientales de los modelos 2 y 3, ambos tienen signos negativos (-0.38723, -0.69904); por lo tanto, las variables ambientales influyen en el desempeño de las empresas en relación con su tecnología de producción. Como consecuencia de lo anterior y en concordancia con otras investigaciones nacionales, Melo y Espinosa (2005) y Patiño, Gómez y Osorio (2010), las empresas de distribución que cuentan con entornos más favorables, en relación con la densidad poblacional en su área de mercado y niveles de consumos más altos, pueden tener un mejor desempeño si las variables ambientales se incluyen, afectando directamente a la tecnología de producción.

Para finalizar, hay que tener en cuenta la relación, la cual en los tres casos es positiva, mostrando que un alto porcentaje en el término de error, puede ser generado por factores fuera de control de las firmas, similar a lo encontrado por Melo y Espinosa (2005).

En la tabla 3 se calculan los niveles de eficiencia técnica promedio para las diferentes empresas de distribución de energía eléctrica y se determina que estos niveles varían de acuerdo con el modelo. En este sentido, los promedios de eficiencia técnica de las empresas de distribución, obtenidos a través de los diferentes modelos, corresponden a: 53% (modelo 1), 73% (modelo 2) y 65% (modelo 3), de modo que el modelo 2 representa el mayor grado de eficiencia.

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Promedio	0.5396	0.7380	0.6587
Desviación estándar	0.2297	0.2668	0.2589
Máximo	0.9162	0.9996	0.9501
Mínimo	0.1004	0.1116	0.0958

Tabla 3: Eficiencia media. Fuente: Cálculos propios

Tomando los tres modelos, en relación con los niveles de eficiencia, la tabla 4 señala que estos niveles están entre un mínimo de 9,5% y un máximo de 99%, lo que sugiere que se pueden presentar ganancias extraordinarias, en términos de

eficiencia. En cuanto a las desviaciones estándar, se encuentra que estas oscilan entre 23% (modelo 1) y 26% (modelo 3), que en términos generales indica que hay una alta dispersión.

Por lo que se refiere al ranking de las empresas, considerando sus niveles de eficiencia, la tabla 6 muestra la posición que le corresponde a cada firma, teniendo en cuenta los tres modelos estimados¹⁷. Es importante mencionar que debido a la limitación en materia de información, para efectos del presente análisis, se excluyen a seis empresas que no cuentan con la totalidad de datos requeridos, como EPM y EDEQ., y por consiguiente esta tabla contiene información de 17 empresas.

A grandes rasgos, se logra identificar que la empresa de energía de Boyacá S.A. E.S.P. presenta el mayor índice de eficiencia, en dos modelos, seguida por la Central Eléctrica del Cauca S.A. E.S.P., cuyos promedios de eficiencia corresponden a un 85%. Por otro lado, las firmas distribuidoras que muestran los peores desempeños en el sector son la Empresa Municipal de Cali y Codensa S.A., con promedios de eficiencia de 18%.

Las tres empresas ubicadas en la parte inferior de la tabla tienen pocos datos, razón por la cual no se incluyen en el *ranking* inicial; sin embargo, se nota que la Central Eléctrica del Norte de Santander presenta un alto nivel de eficiencia (88%); por lo tanto, si fuese tenida en cuenta, representaría la empresa distribuidora de energía más eficiente.

Variable	Modelo 1			Modelo 2		Modelo 3			
	Parámetro estimado	Desviación estándar		Parámetro estimado	Desviación estándar	Parámetro estimado	Desviación estándar		
Intercepto	0.7297	0.1879	***	0.26125	0.01197	***	0.31764	0.12987	**
$\log(q_1/q_2)$	1.0742	0.2434	***	0.31281	0.17983	*	1.10174	0.15557	***
$0.5 \cdot (\log(q_1/q_2))^2$	0.0165	0.5649		0.39849	0.46997		0.38233	0.41883	
$\log(x_1)$	-0.4304	0.2182	**	-0.20111	0.02789	***	-0.26656	0.15031	*
$\log(x_2)$	-0.2688	0.1629	*	-0.49504	0.00679	***	-0.32751	0.11118	***
$0.5 \cdot (\log(x_1))^2$	-0.0662	0.2962		-0.09977	0.07688		-0.08980	0.21093	
$\log(x_1) \cdot \log(x_2)$	-0.0571	0.2664		0.02073	0.08219		0.01542	0.19321	
$0.5 \cdot (\log(x_2))^2$	-0.1033	0.2661		-0.10242	0.06128	*	-0.06002	0.18808	
$\log(x_1) \cdot \log(q_1/q_2)$	0.0657	0.3718		0.09383	0.10445		-0.10542	0.24544	
$\log(x_2) \cdot \log(q_1/q_2)$	-0.1895	0.2503		-0.08483	0.10279		0.25185	0.18235	
$\log(z_1)$				-0.38723	0.17126	**			
$\log(z_2)$				-0.69904	0.11738	***			
Intercepto							-2.24194	2.04852	
$\log(z_1)$							5.69919	2.95317	*
$\log(z_2)$							0.44907	0.87428	
σ^2	1.0897	0.2162	***	0.42820	0.05401	***	1.34940	0.84402	
σ_u^2/σ_v	0.9476	0.0349	***	1.00000	0.00000	***	0.95031	0.03913	***
Log-Verosimilitud	-68.94973			-25.87364			-50.2539		

Tabla 4.: Resultados de las estimaciones. Fuente: Cálculos propios

Nota: *** significancia al 1%, ** significativa al 5% y * significativa al 10%.

17 Los resultados de los rankings no son concluyentes, dado que falta información relevante y además se omitieron empresas importantes del país, razón por la cual estos resultados requieren ser leídos con cautela.

Empresa	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	Eficiencia promedio	Coefficiente de variación	Eficiencia promedio	Coefficiente de variación	Eficiencia promedio	Coefficiente de variación
Centrales Eléctricas del Cauca S.A. E.S.P.	0.827	0.002	0.872	0.198	0.860	0.017
Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P.	0.762	0.097	0.931	0.097	0.866	0.049
Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P.	0.749	0.058	0.931	0.114	0.812	0.047
Compañía de Electricidad de Tuluá S.A. E.S.P.	0.714	0.087	0.888	0.132	0.782	0.079
Electrificadora del Huila S.A. E.S.P.	0.664	0.261	0.722	0.066	0.822	0.107
Centrales Eléctricas de Nariño S.A. E.S.P.	0.652	0.065	0.899	0.108	0.813	0.036
Empresa Distribuidora del Pacífico S.A. E.S.P.	0.632	0.157	0.730	0.295	0.746	0.052
Empresa de Energía de Cundinamarca S.A. E.S.P.	0.629	0.152	0.885	0.124	0.843	0.039
Electrificadora del Meta S.A. E.S.P.	0.464	0.110	0.706	0.190	0.696	0.070
Empresa de Energía del Pacífico S.A. E.S.P.	0.420	0.037	0.904	0.162	0.594	0.075
Empresa de Energía de Pereira S.A. E.S.P.	0.409	0.101	0.592	0.157	0.619	0.068
Electrificadora del Caribe S.A. E.S.P.	0.204	0.372	0.610	0.513	0.135	0.391
Codensa S.A. E.S.P.	0.150	0.685	0.173	0.179	0.229	1.232
Empresas Municipales de Cali E.I.C.E E.S.P	0.145	0.052	0.220	0.325	0.191	0.228
Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P.	0.910		0.800		0.950	
Electrificadora de Santander S.A. E.S.P.	0.631		0.999		0.772	
Compañía Energética del Tolima S.A.E.S.P	0.270		0.612		0.513	
Total general		0.540 0.426		0.738 0.362		0.659 0.393

Tabla 5: Ranking de empresas distribuidora de energía. Fuente: Cálculos propios

Conclusiones

De la revisión de la literatura nacional e internacional se concluye que la aproximación teórica más utilizada para explicar la eficiencia en la actividad de distribución de energía eléctrica corresponde a la eficiencia técnica orientada a insumos y productos. También se encontró que los métodos más utilizados al momento de determinar la eficiencia son: fronteras determinísticas, funciones de distancia estocástica y análisis envolvente de datos. Los resultados arrojados por estos métodos suelen ser consistentes, es decir, el orden de ranking de las empresas es similar a partir de cualquiera de los métodos.

Para evaluar el desempeño de las empresas distribuidoras de energía en Colombia, durante el periodo de 2004 al 2010, se utiliza como técnica funciones de distancia estocástica, y se estiman tres modelos, los cuales difieren en la inclusión de variables ambientales y en la variación con respecto al tiempo. El primer modelo supone que la tecnología de producción es constante en el tiempo y no se incluyen variables ambientales; el segundo, supone que la tecnología de producción es constante en el tiempo y ella es afectada por las variables ambientales; y el tercero, supone que los niveles de eficiencia pueden variar a través del tiempo y las variables ambientales afectan directamente la tecnología de producción.

A partir de los resultados obtenidos, se pone en evidencia la existencia de ineficiencias técnicas, lo cual reafirma los resultados obtenidos por otros estudios realizados en el país. El modelo que representa mayor promedio en la medición de eficiencia es el segundo, con un promedio de 73%, seguido del tercero con 65% y del primero con el 53%. Adicionalmente, estos resultados muestran una relación negativa entre los insumos utilizados y las ventas de energía; además,

resulta importante mencionar que los coeficientes de los términos cuadráticos respecto a los insumos también son negativos, que como se indicó, implicaría que un aumento de los insumos no siempre sugiere un aumento de los niveles de distribución de energía.

Con respecto al uso de variables ambientales, se encontró que estas en el desempeño de las empresas en relación con su tecnología de producción; por lo tanto, las empresas que poseen mayor densidad poblacional en su área de mercado o tienen niveles de consumos más altos, pueden alcanzar mayores utilidades y mejores desempeños, si las variables ambientales se incluyen afectando directamente a la tecnología de producción.

Por otra parte, al analizar el orden de las empresas distribuidoras, teniendo en cuenta 17 de ellas, la firma que presenta un mejor promedio de eficiencia es la empresa de energía de Boyacá S.A. E.S.P. Por el contrario, las empresas que presentan menores niveles de eficiencia son La Empresa Municipal de Cali y Codensa S.A., con promedios muy bajos.

En términos generales, se concluye que el sector de distribución de energía eléctrica presenta ineficiencias de carácter técnico, lo cual se evidencia en las diferencias del desempeño de las empresas con respecto a la frontera de producción ideal.

Referencias

- Aigner, D. & Chu, S. (1968). On estimating the industry production function. *American Economic Review*, 58, 826-839.
- Aigner, D., Lovell, C & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of econometrics*, 6, 21-37.
- Afriat, S. (1972). Efficiency Estimation of Production Function. *American economic review*, 13, 568-839.
- Battese, G. & Coelli, T. (1992, junio). Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: Whit Application to Paddy Farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 38, 153-169.
- Bosch, E.; Navarro, A. y Giovagnoli P. (1999). *Eficiencia Técnica y Asignativa en la Distribución de Energía Eléctrica: El Caso de EPE SF*. Asociación Argentina de Economía Política. Disponible en: http://www.aaep.org.ar/anales/works/works1999/bosch_gimbatti_giovagnoli.pdf
- Calvo, L. (2012). Eficiencia de las empresas distribuidoras de energía eléctrica en Colombia: 2000-2010. *Grafas disciplinares*, 19, 61-70.

- Carrington, R., Coelli, T., & Groom, E. (2002). International Benchmarking for monopoly price regulation: the case of Australian Gas distribution. *Journal of Regulatory Economics*, 21, 191-216.
- Coelli, T., Estache, A., Perelman, S. & Trujillo, L. (2003). *A primer on efficiency measurement for utilities and transport regulators*. World Bank Institute Development Studies. Washington: World Bank.
- Coelli, T., & Perelman, S. (2000). Technical Efficiency of European Railways: A Distance Function Approach. *Applied Economics*, 32(15), 1967-1976..
- Coelli, T., Rao, P., O' donell, C. & Battese, G. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis* (2a Ed). New York: Springer.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). diferentes Resoluciones. Disponible en <http://www.creg.gov.co>
- Debreu, G. (1951). The Coefficient of Resource Utilization. *Econometría*, 19, 273-292.
- Estache, A., Rossi, M. & Ruzzier, C.A. (2004). The Case for International Coordination of Electricity Regulation: Evidence from the Measurement of Efficiency in South America. *Journal of Regulatory Economics*, 25(3), 271-295.
- Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120, 253-289.
- Fried, H., Lovell, K. & Schmidt, S. (1993). *The Measurement of productive Efficiency Techniques and applications*. New York: Oxford University Press.
- Greene, W. (1993). The Econometric Approach to Efficiency Analysis. En: H. Fried, K. Lovell & S. Schmidt, *The Measurement of productive Efficiency Techniques and applications* (Pp. 68 - 119). New York: Oxford University Press.
- Greene, W. (2007). Fixed and Random Effects Models for Count Data. *Working Papers 07-15*, (Pp.96-236). New York: New York University, Leonard N. Stern School of Business, Department of Economics.
- Hattori, T. (2002). Relative Performance of U.S. and Japanese Electricity Distribution: An Application of Stochastic Frontier Analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 18, 269-282.
- Kumbhakar, S. (1990). Production Frontier, Panel Data and Time-Varying Technical Inefficiency. *Journal of Econometrics*, 46(1), 201-211.
- Kumbhakar, S. & Lovell, K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ley 142 de 1994. [En línea]. Disponible en: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1994/ley_0142_1994.html
- Ley 143 de 1994. [En línea]. Disponible en: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1994/ley_0143_1994.html

- Loza A., Margaretic, P. y Romero, C. (2003). Consistencia de medidas de eficiencia basadas en funciones de distancia paramétricas y no paramétricas. Una aplicación de empresas distribuidoras de energía eléctrica en la Argentina. Instituto de Economía y Centro de Estudios Económicos de la Regulación, UADE. Disponible en: http://mpra.ub.uni-muenchen.de/15269/2/Loza-Margaretic-Romero-Fronteras_electricidad-MPRA.pdf
- Lovell, K. (1993). Production Frontiers and Productive Efficiency. En: H. Fried, K. Lovell & S. Schmidt (Eds.), *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications* (Pp.3-67). New York: Oxford University Press.
- Lovell, C., Walters, L. & Wood, L. (1994). Stratified models of education production using modified DEA and regression analysis. En: A. Charnes, W. Cooper, A. Lewin & L. Seiford (Eds.), *Data Envelopment Analysis: theory, methodology and applications* (Pp. 329-351). Boston: Kluwer.
- Malmquist, S. (1953). Index Numbers and Indifference Surfaces. *Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa*, 4(2), 209-242.
- Melo L. y Espinosa, N. (2005). Ineficiencia en la distribución de energía eléctrica: Una aplicación de las funciones de distancia estocástica. *Ensayos Sobre Política Económica –ESPE–*, 49, 88-132.
- Meeusen, W. & van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18 435-444.
- Ministerio de minas y energías de Colombia, MME. [En línea]. Disponible en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/>
- Patiño, Y., Gómez, G. y Osorio, E. (2010). Evaluación del desempeño del sector de distribución de electricidad en Colombia: Una aplicación del Análisis de Frontera Estocástica. *Ensayos Sobre Política Económica*, 28(62), 70-123.
- Richmond J. (1974, junio). Estimating the Efficiency of Production. *International Economic Review*, 15,515-521.
- Rodríguez, A. (2004). *Evaluación de la actividad de distribución eléctrica en España mediante fronteras de eficiencia*. Máster en gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico, Universidad Pontificia Comillas ICAI, España. Disponible en: <http://www.iit.upcomillas.es/docs/TM-04-005.pdf>
- Rodríguez, M., Rossi, M. y Ruzzier, C. (2006). *Fronteras de eficiencia en el sector de distribución de energía eléctrica: la experiencia sudamericana*. Centro de Estudios Económicos de Regulación UADE, Argentina. Disponible en: http://cdi.mecon.gov.ar/biblio/docelec/aaep/98/rodriguez-pardina_rossi_ruzzier.pdf
- Shephard, R. (1953). *Cost and Production Functions*. Princeton University Press.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, SSPD. [En línea]. Disponible en: <http://www.superservicios.gov.co>