

La eficiencia energética en la industria manufacturera Colombiana: una estimación con Análisis Envolvente de Datos-DEA y Datos de Panel^a

Clara Inés Pardo Martínez

Instituto Real de Tecnología Sueca (KTH), División de Estudios en Energía y Clima
Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Alexander Cotte Poveda

Universidad de Göttingen, Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias Administrativas y Contables

Recibido: 02/10/2010 Aceptado: 29/04/2011

Resumen

En el presente estudio se ha utilizado el método de Análisis Envolvente de Datos (DEA) para determinar las tendencias de la eficiencia energética en la industria manufacturera colombiana, tomando como referencia los sectores intensivos energéticamente (SIE). Los resultados de DEA muestran que la gran mayoría de los sectores industriales estudiados han mejorado su eficiencia energética indicando

^a El documento es resultado de uno de los trabajos de investigación que realiza el grupo de Violencia, Instituciones y Desarrollo Económico –VIDE– de la Universidad de La Salle reconocido en Categoría A1 por Colciencias. Los autores agradecen los valiosos y acertados comentarios de Wolfgang Irrek del Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Instituto Wuppertal para el Clima, el Medio Ambiente y la Energía) y Semida Silveira de la División de Estudios en Energía y Clima de Kungliga Tekniska Högskolan (Instituto Real de Tecnología Sueca (KTH)). Las opiniones expresadas en este artículo son responsabilidad exclusiva de los autores

que la energía, como un factor productivo, es importante dentro de las estructuras de producción y es un elemento clave dentro del desarrollo tecnológico. En una segunda etapa, el análisis de regresión utilizando técnicas de datos paneles muestra cómo la productividad laboral, las inversiones y el capital son determinantes en los resultados de la eficiencia energética. Estos resultados indican que las políticas energéticas deben motivar la eficiencia energética a través de mejoras tecnológicas e inversiones que aumenten la productividad y disminuyan el consumo de la energía así como la contaminación ambiental.

Palabras Clave: Eficiencia energética, Análisis Envoltante de Datos, Análisis de Datos Panel, industria manufacturera.

Abstract

In this study, data envelopment analysis (DEA) is employed to analysis the trends in energy efficiency in the Colombian manufacturing industries taking as reference energy intensive sectors (EISs). The results of the DEA indicate that the great majority of EISs improved on this index, demonstrating that energy input is an important variable within the production structure and a key element in technology development. At a second stage, regression analysis using panel data analysis reveals that several factors, including labour productive, enterprise size, investments and capital input can be considered determinants in the trends of energy efficiency. These results indicate that different energy policies should apply in the manufacturing industries to encourage the importance of energy efficiency through technology changes and investments in order to improve productivity, decrease energy consumption and pollution.

Keywords: Energy efficiency, Data Envelopment Analysis, Data Panel Analysis, Manufacturing industries.

JEL: L6, Q4

1. Introducción

Mejorar la eficiencia energética se ha convertido en un objetivo importante desde diferentes perspectivas con el fin de garantizar su consumo y sustentabilidad como un ele-

mento clave en el desarrollo económico. Los principales objetivos en el mejoramiento de la eficiencia energética a nivel macro son el mantenimiento de las reservas de combustibles fósiles, incentivar la calidad del medio ambiente, prevenir el calentamiento global y

fortalecer la seguridad energética; mientras que a nivel micro, los principales objetivos de la eficiencia energética son la minimización de costos, reducir la energía cuando sus precios se incrementan y buscar sustitutos energéticos o energías limpias.

Además, la eficiencia energética es considerada como la medida más efectiva, a corto y mediano plazo en el logro de la reducción de las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero, mientras se logra la transición a una economía de bajo carbón (IEA, 2008, SEA, 2009b). Así mismo, mejoras en la eficiencia energética ofrece otros beneficios como son la reducción en los costos de operación, incrementos en la productividad, mejor calidad en los productos, mayor seguridad laboral, reducción de residuos y prevención de la contaminación (Boyd y Pan, 2000; UNF, 2007).

La definición más común de eficiencia energética es la asociada con la intensidad energética que es establecida como la cantidad de energía requerida por unidad de producción o actividad. De acuerdo a la directiva 2006/32/EC del consejo y parlamento europeo sobre uso final de la energía y servicios energéticos, eficiencia energética es la tasa entre el desempeño del producto o servicio y la entrada de energía. Estos conceptos muestran que cuando la relación entre E/O (donde E es el total de energía consumida y O es el total de la producción) disminuye en el tiempo, la eficiencia energética ha mejorado. Además, la eficiencia energética se puede dar en los procesos de conversión de acuerdo a la proporción entre la energía utilizada para generarla y la cantidad disponible para uso final o en el consumo final por la cantidad de energía uti-

lizada para la satisfacción de las necesidades personales y la demanda de energía para otros fines (WI, 2009).

Las teorías sobre eficiencia energética se han desarrollado especialmente desde la crisis energética de los 70 donde el tema central era el cambio o las mejoras tecnológicas desde la perspectiva de obtener una mayor producción con un menor uso de la energía (Barbour et al., 1982). Adicionalmente, estos cambios tecnológicos incluyeron la sustitución de las fuentes de energía a partir de combustibles menos eficientes y más contaminantes (carbón o productos del petróleo) a combustibles más eficientes y con menor generación de contaminantes (gas natural o bio-combustibles) como una estrategia para utilizar mejor la energía (UNEP, 1976, Steinbuks, 2010). En la década de los 90 y a partir de la cumbre de Rio, el tema energético se convierte en una prioridad donde el concepto de eficiencia energética comienza a integrar la dimensión económica de tal forma que el ahorro dado por el uso de la misma no debe ser superior al costo de generar energía, lo que implica incluir el costo ambiental y de oportunidad en su uso, lo cual garantiza el uso de la energía de forma sustentable, donde la generación, transformación y uso de la misma deben estar planteadas en términos económicos, sociales y ambientales (IPPC, 2007, IEA, 2007).

En los últimos años, algunos estudios han analizado la eficiencia energética dentro de una estructura de producción con entradas y salidas, donde la energía es una entrada del proceso productivo que puede ser examinada para determinar la relación entre intensidad energética y el nivel de producción (Boyd y Pang, 2000). Algunos ejemplos de estudios

que han utilizado esta metodología denominada Análisis Envolvente de Datos (DEA), presentan varias formas de aproximación al problema: Schuschny (2007) y Zhou y Ang (2008) aplicaron modelos DEA para analizar las emisiones de CO₂ en Latino América y 21 países de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD). Sarica y Or (2007) valoraron la eficiencia energética en las plantas eléctricas turcas, mientras que Mukherjee (2008) presentó diferentes modelos DEA para valorar la eficiencia energética de diferentes unidades productivas. En Colombia, DEA ha sido aplicado en estudios para determinar la eficiencia en sistemas de distribución eléctrica (Pombo y Taborda, 2006), costos de producción (López, et al., 2007), determinación del ranking en los grupos de investigación (Restrepo y Villegas, 2007), estudio comparativo de la eficiencia energética en los sectores no intensivos de Alemania y Colombia (Pardo, 2010) y un estudio sobre el control efectivo de la violencia (Cotte, 2011).

Teniendo en cuenta estos antecedentes, el objetivo de este estudio es medir la eficiencia energética de los sectores intensivos energéticamente (SIE) en Colombia a partir de sus estructuras de producción y el uso del método (DEA). Además, para explicar las variaciones en los resultados de la eficiencia energética a través de SIE se utiliza un análisis de regresión con técnicas de datos paneles que incluye variables clave que podrían afectar los resultados de la eficiencia energética en este sector.

El estudio presentado pretende mostrar varias perspectivas para abordar el tema: *i*. El estudio analiza diferentes factores que podrían

determinar los resultados de la eficiencia energética en los SIE colombianos. Los estudios relacionados con los determinantes de la eficiencia energética se han concentrado en factores específicos (precios de energía o cambio tecnológico) sin revisar otras interrelaciones, como se muestra en este trabajo. *ii*. La eficiencia energética es estimada utilizando el concepto de intensidad energética y el uso de DEA como una estructura de producción que permite determinar la eficiencia energética relativa de los SIE estudiados. Posteriormente, con los índices de eficiencia energética generados por DEA, se examinan algunos factores determinantes de estos resultados utilizando técnicas de análisis de datos paneles. Para el caso colombiano, los estudios de este tipo son limitados, el presente trabajo se constituye en una motivación para determinar la importancia de las diferentes categorías de análisis y sus interrelaciones con los temas del desarrollo.

Para este propósito el trabajo se ha organizado en cuatro secciones. La primera, constituida por la presente introducción. La sección 2 muestra la metodología y datos utilizados en este estudio. En la sección 3 se presentan los resultados de la aplicación empírica en los SIE colombianos y los principales hallazgos del análisis y, finalmente, las conclusiones son presentadas en la sección 4.

2. Metodología y datos

En esta sección, se presenta una descripción de la metodología y los datos utilizados para estimar la eficiencia energética a través de DEA y así establecer algunos factores que

son determinantes en sus resultados a partir del análisis de regresión con datos panel. El estudio consiste en tres etapas: (I) Se determinan los SIE colombianos teniendo en cuenta la legislación alemana sobre impuestos de energía¹. (II) Se estima la intensidad energética como un indicador tradicional de eficiencia energética y que es definida como la energía utilizada por una unidad de producción económica (Giga-joule / Euro (GJ/€))², se propone un modelo DEA para medir la eficiencia energética, el cual genera unos índices en cada sector observado. (III) Los índices de eficiencia energética generados a partir del modelo DEA son utilizados como variable dependiente en un análisis de datos paneles donde se incluyen diferentes variables independientes que podrían influir la eficiencia energética de los SIE durante el periodo de estudio.

2.1. La aplicación de DEA para medir la eficiencia energética

DEA permite medir la eficiencia relativa de un conjunto de elementos denominados unidades de decisión (DMUs)³ que utilizan recursos (entradas) para generar productos (salidas). Esta metodología utiliza métodos de programación lineal en la construcción de una frontera no paramétrica a partir de los datos y poder así, calcular las eficiencias relativas con respecto a esta frontera. Además, DEA permite la identificación y cuantifica-

ción de las DMUs ineficientes con relación a las entradas y salidas utilizadas. La definición de eficiencia en DEA está integrada por tres conceptos: *eficiencia técnica*, la cual refleja la habilidad de la firma para obtener la máxima producción a partir de unas entradas dadas; *eficiencia de localización*, muestra la habilidad de la DMU para utilizar las entradas de forma óptima para convertirlas en salidas y; *escala de eficiencia*, analiza las características de desempeño de la escala utilizada por la DMU. Estas tres medidas son combinadas para generar un valor total de eficiencia (Farrel, 1957, Coelli et al., 1997 y 2005). Siguiendo a Mukherjee (2008), se utiliza un modelo DEA para estimar la eficiencia como una medida normativa en vez de una medida descriptiva como lo es la intensidad energética y determinar los efectos de la sustitución de entradas sobre los resultados de la eficiencia energética en SIEs.

Normalmente y por simplificación, se considera una industria manufacturera productora de bienes y servicios con un vector de n entradas $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Donde y_i representa la salida y el vector x_i representa un set de entradas de i_{th} DMU, $i=1 \dots m$. Se supone que los datos de entrada y de salida son observados para m DMUs. Luego el set de tecnología puede ser completamente caracterizado por el siguiente conjunto de producción $S = \{(x, y): y \text{ puede ser producida a partir de } x\}$ basado en los supuestos tradicionales de factibilidad para todas las combinaciones de entradas y salidas⁴, libre disponibilidad con res-

1 La legislación alemana sobre impuestos de energía define a los SEI como aquellos sectores donde el costo de la energía está por encima del 3% del total de los costos de producción.

2 En la literatura los cambios de la intensidad energética pueden ser interpretados como indicadores de cambio de la eficiencia energética (Phylipsen et al., 1998, APERC, 2000).

3 *Decision making units*.

4 Todas las combinaciones de entadas y salidas son factibles.

pecto a las entradas y salidas⁵ y convexidad⁶. Se asume adicionalmente retornos constantes de escala implicando que toda la expansión radial también como las contracciones de las combinaciones factibles de entradas y salidas es también considerada factible.

El objetivo del modelo DEA propuesto es conocer la reducción máxima posible de la entrada denominada energía (β), manteniendo o incrementando el nivel de producción sin requerir ninguna cantidad adicional de cualquier otra entrada. El modelo muestra un vector de entrada denominado x_0 que es dividido explícitamente en cada componente de las entradas (en este estudio, capital (K), mano de obra (L), materiales (M) y energía (E)). Además, las desigualdades (1b) y (1d) aseguran que otras entradas no sean incrementadas en la solución óptima y la desigualdad (1e) asegura que las salidas producidas no son menores de las que actualmente se están produciendo.

$$\beta^* = \min \beta, \quad (1a)$$

Sujeto a

$$\sum_{i=1}^n K_i \lambda_i \leq K_0 \text{ (Capital)}, \quad (1b)$$

$$\sum_{i=1}^n L_i \lambda_i \leq L_0 \text{ (Mano de obra)}, \quad (1c)$$

$$\sum_{i=1}^n M_i \lambda_i \leq M_0 \text{ (Materiales)}, \quad (1d)$$

$$\sum_{i=1}^n E_i \lambda_i \leq \beta E_0 \text{ (Consumo de energía)}, \quad (1e)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i \lambda_i \geq y_0 \text{ (salida: producción bruta)}, \quad (1f)$$

$$\lambda_i \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1g)$$

n = El número of DMUs,

λ_i = Multiplicador no negativo que genera la máxima productividad total media.

β^* = índice de eficiencia energética para la industria.

Un valor de $\beta^*=0.85$ en este modelo, implica que es posible reducir la energía consumida como entrada en un 15% manteniendo los niveles de producción y sin requerir cantidades adicionales de las otras entradas⁷. Este modelo puede ser utilizado para medir la eficiencia energética cuando el objetivo de estudio es la conservación de la energía y el mantenimiento de la calidad ambiental a causa de la reducción del uso de la energía pero manteniendo los niveles de producción.

5 Libre disponibilidad significa que se pueden producir más salidas dada una combinación de entradas; por ejemplo, si se produce una cantidad original, después se tendría por esta vía un exceso que no implica costo adicional ni uso adicional de cualquiera de las entradas (Schotter, 2009).

6 Convexidad implica que si una actividad de producción z que produce una cantidad de salidas y utilizando capital y mano de obra en específicas cantidades y otra actividad w que produce la misma cantidad utilizando diferentes cantidades de estas entradas, luego se puede producir siempre y por mezcla de estas actividades, una fracción λ del tiempo y ω una fracción $(1-\lambda)$ del tiempo (Schotter, 2009).

7 Este es el concepto de eficiencia técnica de la firma de acuerdo a Debreau (1951) y Farrell (1957).

$$\begin{aligned} \Delta EE_{it} = & \\ & \gamma_0 + \gamma_1 * LAPRO_{it} + \gamma_2 * ELE_{it} \\ & + \gamma_3 * ENSI_{it} + \gamma_4 * INV_{it} \\ & + \gamma_5 * KL_{it} + u \end{aligned} \quad (2)$$

2.2. Análisis de regresión utilizando análisis de datos panel

Para explicar la variación de los resultados de la eficiencia energética obtenidos a partir de DEA se utiliza el análisis de regresión. Los índices de eficiencia energética son definidos como la variable dependiente en varios modelos de regresión que incluyen diferentes parámetros de evaluación con el fin de determinar los factores que podrían influenciar los resultados de la eficiencia energética (ver ecuación (2) y Cuadro 1).

Note que ΔEE_i son los índices de eficiencia energética obtenidos a partir del modelo DEA propuesto, $LAPRO$ es productividad laboral, ELE consumo de electricidad, INV son las inversiones y KL es la relación entre capital y mano de obra cada variable fue medida en cada SEI i en cada uno de los años t seleccionados para el estudio.

El análisis de regresión es estimado utilizando técnicas de datos paneles teniendo en cuenta que en la literatura se argumenta que estas técnicas podrían ser suficientes y proveer estimadores consistentes en un segundo paso de regresión después de haber calculado eficiencias aplicando DEA (Hoff, 2007, Mc Donald, 2008, Banker y Nataraajan, 2008, Pardo y Cotte, 2011). Además, para verificar la robustez de las estimaciones obtenidas se aplicaron diferentes test y el ajuste de corrección de errores estándar para paneles como se explica más adelante.

Los índices obtenidos a partir de DEA son transformados a logaritmo natural debido a la simetría de los mismos y mejorar la normalidad. Para seleccionar el modelo adecuado de regresión se aplicaron los siguientes test estadísticos: (I) Test F para determinar entre OLS y el modelo de efectos fijos; (II) Test de Breusch y Pagan para determinar entre OLS y efectos aleatorios; (III) Test de Hausman para determinar entre efectos fijos y efectos aleatorios. Con el fin de determinar la robustez de los resultados se aplican los siguientes test:

a. *Pesaran CD (dependencia de sección cruzada / correlación contemporánea) test*

Este test determina si los residuos son correlacionados a través de las entidades. La dependencia de la sección cruzada puede generar sesgos en los resultados del test (también denominados correlación contemporánea). La hipótesis nula es que los residuos no son correlacionados. El test se especifica de la siguiente forma (Pesaran, 2004):

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right) \quad (2)$$

El test muestra que, sobre la hipótesis nula de dependencia no cruzada, $CD \xrightarrow{d} N(0, 1)$ para $N \rightarrow \infty$ y T suficientemente largo. El CD estadístico presenta su media a cero para un valor fijo de T y N sobre un amplio rango de modelos de datos panel.

b. *Test de heterocedasticidad en datos paneles con efectos fijos*

El problema de heterocedasticidad cruzada indica que la varianza de los errores de cada

entidad de corte transversal no es constante, lo cual se refiere a que los diferentes sectores en estudio son heterogéneos. Este test calcula un Wald estadístico modificado para lo que respecta a la heterocedasticidad de grupo en los residuos del modelo de regresión de efectos fijos. La hipótesis nula especifica que $\sigma_i^2 = \sigma^2$ para $i = 1, \dots, N_g$, donde N_g es el número de unidades de secciones cruzadas. Tomando $\hat{\sigma}_i^2 = T_i^{-1} \sum_{t=1}^{T_i} e_{it}^2$ como el estimador de i_{th} unidades de sección cruzadas con varianza de error, basados sobre que T_i residuos e_{it} disponibles para la unidad definiéndolo así (Greene, 2011, Baum, 2001).

$$V_i = T_i^{-1} (T_i - 1)^{-1} \sum_{t=1}^{T_i} (e_{it}^2 - \hat{\sigma}_i^2)^2 \quad (3)$$

Como el estimado de la varianza de $\hat{\sigma}_i^2$. El test estadístico modificado de Wald es definido como:

$$W = \sum_{i=1}^{N_g} \frac{(\widehat{\sigma}_i^2 - \hat{\sigma}^2)^2}{V_i} \quad (4)$$

Para ser distribuido como $\chi^2 [N_g]$ sobre una hipótesis nula. Lo nulo presenta homocedasticidad (o varianza constante). Arriba, se rechaza lo nulo y se concluye heterocedasticidad.

c. Test de correlación serial

El test de Wooldridge para auto correlación serial determina la presencia de serial auto correlación indicando que la variable dependiente se caracteriza por la persistencia o la dinámica media revertida implicando que las variables omitidas tienen un mayor impacto sobre la variable dependiente. Esta técnica

captura los efectos acumulativos de las múltiples variables no observadas año por año de los departamentos individuales y dispone del efecto de la variable independiente para ser estimado directamente. El método de Wooldridge utiliza los residuos de una regresión en primeras diferencias con el propósito de eliminar el efecto a nivel individual,

$$y_{it} - y_{it-1} = (X_{it} - X_{it-1}) \beta_1 + \epsilon_{it} - \epsilon_{it-1} \quad (5)$$

$$\Delta y_{it} = \Delta X_{it} \beta_1 + \Delta \epsilon_{it} \quad (6)$$

Donde Δ es la primera diferencia del operador.

El procedimiento de Wooldridge comienza estimando los parámetros β_1 por la regresión Δy_{it} sobre ΔX_{it} y obteniendo los residuos $\hat{\epsilon}_{it}$. La hipótesis de este procedimiento es que si ϵ_{it} no está serialmente correlacionada, entonces corre $(\Delta \epsilon_{it}, \Delta \epsilon_{it-1}) = -0.5$. De acuerdo con esta observación, el procedimiento retorna los residuos $\hat{\epsilon}_{it}$ a partir de una regresión en primeras diferencias de las variables sobre los rezagos y el test genera el coeficiente de los residuos rezagados que es igual -0.5 (Wooldridge, 2010, Drukker, 2003). Con lo anterior se rechaza la nulidad y se concluye que los datos no tienen auto correlación en primeras diferencias.

d. Regresión de efectos fijos utilizando error estándar con Driscoll y Kraay

La regresión de efectos fijos utilizando error estándar con Driscoll y Kraay (1998) es apli-

cada en el caso de que las estimaciones con efectos fijos presenten problemas de heterocedasticidad o dependencia de sección cruzada. Este estimador es implementado en dos pasos. En el primer paso todas las variables del modelo $z_{it} \in \{y_{it}, x_{it}\}$ se transforman como sigue (Hoechle, 2007):

$$\begin{aligned} \tilde{z}_{it} &= z_{it} - \bar{z}_i + \bar{z} \text{ where } \bar{z}_i = \\ T_i^{-1} \sum_{t=t_{i1}}^{T_i} z_{it} \text{ and } \bar{z} &= \\ \left(\sum T_i \right)^{-1} \sum_i \sum_t z_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

El segundo paso estima el modelo transformado:

$$\tilde{y}_{it} = x'_{it}\theta + \tilde{\varepsilon}_{it} \quad (8)$$

2.3. Construcción y estructuración de los datos

Este estudio cubre los SEIs a tres dígitos de nivel de agregación teniendo en cuenta el Sistema Internacional de Clasificación Económica (ISEC⁸). El periodo de estudio seleccionado es de 1998 a 2005 que fue determinado por la disponibilidad y fiabilidad de los datos requeridos para la aplicación de las técnicas propuestas.

Para la aplicación del modelo DEA se conceptualiza una salida y cuatro entradas como factores productivos. La salida es el valor de la producción bruta para cada SEI y como entradas se han tomado, la mano de obra medida como el número de personas emplea-

das; energía medida como la energía consumida por cada sector; capital medido como el stock de capital y materiales medido como los gastos en materiales. La fuente de los datos es el Departamento Nacional de Estadística (DANE) por medio de la aplicación Encuesta Nacional para la Industria Manufacturera. El Cuadro 1 muestra las variables seleccionadas para la aplicación del análisis de regresión con datos paneles con el fin de definir los factores que determinan los resultados de la eficiencia energética en los SEIs.

3. Resultados y análisis

3.1. Resultados de intensidad energética y los índices de eficiencia energética a partir de DEA

El Cuadro 2 muestra los resultados de la eficiencia energética medida como intensidad energética y los índices de los modelos DEA para los SEIs colombianos durante el periodo de estudio. El promedio de la intensidad energética es 35.9 Gj/€ implicando que para producir un euro de producción los SEIs colombianos utilizan, en promedio, 35.9 Gj de energía. Los SEIs con mayor intensidad energética son los siguientes: productos de cerámica (264), cemento (265), objetos de cerámica (262) y corte y pulido de piedra (267); mientras que los productos de caucho y plástico (251 y 252) y metales no ferrosos (274) son los SEIs con menor intensidad energética.

Los resultados de la intensidad energética para los SEIs colombianos son relativamente superiores en comparación con los mismos sectores de países desarrollados, lo que puede ser explicado por el rezago tecno-

8 La ISEC clasifica los datos de acuerdo a los tipos de actividad económica en las aéreas de producción, empleados, producto interno bruto y otros aspectos estadísticos.

lógico y la estructura de procesos productivos aplicados en Colombia que en su gran mayoría utilizan tecnologías de hace más de 20 o 30 años (UPME, 2001). Además, los resultados también podrían indicar que en este sector el nivel tecnológico es todavía moderado en comparación con las nuevas tecnologías lo

cual genera oportunidades para su adopción mejorando la eficiencia y la productividad con un enfoque basado en la sostenibilidad y protección del medio ambiente. Durante el periodo de estudio, la intensidad energética se incrementó entre 1998 y 2003, después se disminuyó en todos los sectores.

Cuadro 1.

Descripción de las variables utilizadas en el análisis de regresión.

Variable	Medición	Consideraciones teóricas	Hipótesis
Productividad laboral	Producción de la industria por trabajador	Los cambios tecnológicos y en prácticas de operación incrementan la productividad laboral y fomentan la eficiencia energética (Mattera et al., 2009).	La productividad laboral tiene una relación directa con las mejoras en eficiencia energética.
Consumo de Electricidad	Porcentaje de electricidad sobre el total de energía consumida	La sustitución de combustibles por energías limpias genera mejoras en la eficiencia energética y mitiga la degradación ambiental (Klein y Robinson, 1992).	A mayor consumo de electricidad se genera una mayor eficiencia energética.
Tamaño de empresa	El porcentaje de producción en mediana y gran empresa ⁹ .	La pequeña y mediana empresa tiene oportunidades para mejorar eficiencia energética e incrementar su productividad a través de mejoras tecnológicas que fortalecen su competitividad y desarrollo sustentable (UN, 2009).	Una mayor producción en mediana y gran empresa está asociada con mayor eficiencia energética.
Inversiones en maquinaria, equipos, edificios y plantas	Porcentaje de la inversión sobre la producción.	La reducción de los efectos del cambio climático requiere del uso de estrategias efectivas en costos, donde las inversiones en eficiencia energética juegan un papel fundamental, las cuales deben garantizar bajos costos de transacción y un aceptable riesgo en el retorno de la inversión (UNECE, 2010).	Una mayor inversión está positivamente asociada con la eficiencia energética.
Entrada de capital	Relación entre capital y mano de obra.	El capital y la energía podrían ser sustitutos a largo plazo y complementarios a corto plazo (Apostolakis, 1990).	Los resultados de esta variable deberían ser positivos porque la relación entre capital y energía, mano de obra y energía deberían ser complementarias.

Fuente: *Elaboración propia*

⁹ Esta variable es calculada teniendo en cuenta las categorías establecidas por el DANE con base en el número de trabajadores y niveles de producción.

El modelo DEA utilizado en este estudio se conoce como eficiencia técnica, pretende minimizar el uso de energía sin incrementar otras entradas ni reducir la producción. Los resultados muestran que el promedio del índice de eficiencia energética para SEIs colombianos durante el periodo de estudio es 0.63. Los sectores de producción de caucho (251), acerrado, cepillado e impregnación de maderas (202) y terminado de textiles (273) mostraron los mejores índices con esta medida de eficiencia energética mientras que los sectores de vidrio (261), corte y pulido de piedra (267) y otros productos no metálicos (268) muestran eficiencias inferiores al 42%.

Los resultados evidencian que la mayoría de los SEIs colombianos mejoraron los índices de eficiencia energética desde los resultados de DEA durante el periodo de estudio, demostrando que la energía como factor productivo es una variable importante dentro de un esquema de producción y un elemento clave en el desarrollo tecnológico. Por lo tanto, el cambio tecnológico podría afectar la eficiencia energética por mejoras en la producción o uso de combustibles menos contaminantes (Birol y Kepler, 2000); las

innovaciones tecnológicas juegan un rol fundamental en la disminución del uso de energía generando los mismos o mejores niveles de producción (IAC, 2007).

Además, los resultados también revelan que los SEIs colombianos tienen gran potencial para aumentar su eficiencia energética al ser un sector productivo en expansión, lo cual concuerda con UNIDO (2008) que indica que en los países con economías emergentes hay grandes oportunidades de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero mientras se incrementa la competitividad gracias a la aplicación de mejores prácticas, de tecnologías e innovaciones relacionadas con eficiencia energética.

Los resultados del modelo DEA exponen cómo los SEIs experimentaron progreso tecnológico; particularmente, en los sectores más intensivos indican que este sector tiene un gran potencial de mejorar su eficiencia técnica. Un estudio de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2007) sugiere que el potencial de mejoras en la eficiencia tecnológica de toda la industria manufacturera oscila entre 18% y 26% teniendo en cuenta procesos de mejora y cambio tecnológico.

Cuadro 2.

Intensidad energética (E/Y) y eficiencia energética (β) determinada con DEA en SEIs colombianos a 3 dígitos de nivel de agregación.

Sector manufacturero	1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		Promedio anual	
	E/Y	β	E/Y	β	E/Y	β	E/Y	β	E/Y	β	E/Y	β	E/Y	β	E/Y	β	E/Y	β
171 PHF	27.2	0.37	26.6	0.37	19.4	0.45	18.8	0.44	22.9	0.47	24.4	0.56	22.6	0.50	21.6	0.54	22.9	0.46
172 TPT	20.1	0.30	20.0	0.40	14.7	0.48	13.0	0.49	16.8	0.52	16.9	0.53	16.1	0.41	14.8	0.48	16.6	0.45
173 AT	10.6	0.95	21.2	0.90	14.0	0.85	15.3	0.87	15.6	0.87	14.6	1	11.4	1	11.6	1	14.3	0.93
174 FOT	8.6	0.36	6.6	0.58	5.5	0.68	5.4	0.69	6.2	0.63	6.8	0.64	6.6	0.62	5.7	0.69	6.4	0.61
175 FTP	7.3	0.42	12.3	0.23	6.5	0.67	6.2	0.45	7.8	0.45	9.0	0.47	8.2	0.45	6.8	0.52	8.0	0.46
202 ACM	10.5	0.59	10.6	1	10.6	1	11.7	1	14.1	0.96	16.2	0.90	13.4	0.85	12.7	0.91	12.5	0.90
211 PPP	19.2	0.52	20.0	0.73	21.4	0.68	20.8	0.57	23.9	0.57	23.7	0.52	21.3	0.48	19.6	0.59	21.2	0.58
241 FQB	20.9	0.78	21.3	0.89	20.5	0.82	23.7	0.85	26.0	0.82	29.2	0.85	24.7	0.86	21.2	0.85	23.4	0.84
251 FPC	3.1	1	2.8	1	2.4	1	2.6	1	3.3	1	4.2	0.83	3.8	0.83	3.2	0.88	3.2	0.94
252 PP	3.6	0.87	3.3	0.87	2.8	0.79	3.3	0.80	4.3	0.76	5.5	0.78	4.9	0.77	3.7	0.77	3.9	0.79
261 FVP	9.7	0.34	10.4	0.39	10.9	0.39	10.7	0.39	11.66	0.34	12.9	0.36	12.1	0.35	9.94	0.55	11.1	0.39
262 NCP	69.9	0.17	7.53	0.67	7.88	0.57	8.34	0.39	7.39	0.54	8.30	0.56	7.59	0.57	6.52	0.73	7.57	0.52
263 PRC	44.1	0.24	55.4	0.54	57.9	0.44	65.8	0.35	68.1	0.38	69.1	0.37	56.2	0.35	34.3	0.48	56.4	0.39
264 CAP	98.7	0.83		0.34	111.3	0.33	114.6	0.31	112.6	0.35	123.8	0.37	112.6	0.38	87.4	0.43	108.4	0.42
265 CP	60.6	0.84	66.0	0.93	69.9	0.83	78.5	0.85	85.2	0.76	89.9	0.82	82.0	0.82	105.5	0.83	79.7	0.84
266 ACC	10.1	0.31	10.9	0.75	11.6	0.68	12.3	0.46	13.6	0.41	14.9	0.42	13.8	0.83	12.1	0.76	12.4	0.58
267 CPP	68.2	0.15	73.4	0.41	76.8	0.34	105.8	0.33	69.8	0.47	76.0	0.46	59.4	0.47	54.4	0.63	73.0	0.41
268 ONMI	32.8	0.39	35.3	0.54	36.9	0.49	35.4	0.37	39.7	0.37	46.4	0.36	43.0	0.35	38.4	0.44	38.5	0.42
271 IHA	29.3	0.84	30.4	0.79	31.4	0.78	31.0	0.74	31.9	0.73	27.9	0.72	19.1	0.79	15.8	0.79	27.1	0.77
274 MNF	5.1	0.81	5.3	0.84	5.4	0.84	4.9	0.83	3.6	0.92	2.7	1	2.8	1	2.8	1	4.1	0.91
Promedio total SEIs	32.4	0.55	35.4	0.66	35.4	0.66	38.0	0.61	37.8	0.62	40.7	0.63	35.9	0.63	31.8	0.69	35.9	0.63

Fuente: Elaboración propia

E/Y: Intensidad energética (G/J/€1998)

Note: PHF: 171 Preparación de hilaturas y fibras textiles; TPT: 172 Tejedura de productos textiles; AT: 173 Acabado de productos textiles; FOT: 174 Fabricación de otros productos textiles; FTP: 175 Fabricación de tejidos y artículos de punto y ganchillo; ACM: 202 Aserrado, cepillado e impregnación de madera; PPP: 211 Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón; FQB: 241 Fabricación de sustancias químicas básicas; FPC: 251 Fabricación de productos de caucho; PP: 252 Fabricación de productos de plástico; FVP: 261 Fabricación de vidrio y productos de vidrio; NCP: 262 No estructural, no refractario productos de cerámica; PRC: 263 Productos refractarios de cerámica; CAP: 264 Estructural y no refractario de productos de arcilla y cerámica; CP: 265 Cemento, cal y yeso; ACC: 266 Artículos de concreto, cemento y yeso; CPP: 267 Corte y pulido de piedra; ONMI: 268 Otros productos de mineral no metálico; IHA: 271 Industrias básicas de hierro y acero; MNF: 274 Industrias básicas de metales preciosos y metales no ferrosos.

3.2. Análisis de los resultados de la eficiencia energética en los SEIs colombianos

En consecuencia se observan diferencias en los índices de eficiencia energética generados por DEA en los SEIs, por ejemplo, el agregado de la intensidad energética disminuyó 2% en este sector. Teniendo en cuenta estas tendencias, la presente sección pretende discutir distintas variables que pueden afectar la eficiencia energética en este sector utilizando un análisis de regresión con técnicas de datos panel. Los índices obtenidos a partir del modelo DEA se definen como la variable dependiente y como variables independientes se tienen en cuenta las variables definidas en la sección 2.3.

Los resultados del test F y del test de Hausman indican que la regresión con efectos

fijos es el mejor modelo (ver Cuadro 3). La ventaja de utilizar efectos fijos en los SEIs colombianos es que permite analizar el efecto específico de cada SEI y así es posible controlar las unidades específicas de variables omitidas presente en algunas variables. Sin embargo, la estimación de los residuos con efectos fijos muestra problemas de heterocedasticidad y correlación serial en las diferentes estimaciones. Para corregir estos problemas, el modelo es aplicado nuevamente utilizando la regresión de efectos fijos con la corrección sugerida por Driscoll y Kraay (1998) y Hoechle (2007). El Cuadro 3 muestra los resultados de la estimación de efectos fijos y la corrección sugerida por Driscoll y Kraay.

Cuadro 3.

Resultados de la regresión para explicar los resultados de eficiencia energética en los SIEs colombianos (índice de eficiencia energética (β) variable dependiente).

Parámetro	Colombia			
	Efectos fijos		Efectos fijos con error estándar Driscoll y Kraay	
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 1	Modelo 2
Constante	-3.196*** (4.98)	-3.438*** (6.00)	-3.196*** (3.14)	-3.438*** (5.00)
Productividad laboral	0.527*** (4.13)	0.513*** (4.09)	0.527*** (4.38)	0.513*** (3.71)
Consumo de electricidad	0.084 (0.78)		0.084 (0.60)	
Tamaño de empresa	0.046 (0.61)		0.046 (1.12)	
Inversiones	0.024 (0.99)	0.021 (0.91)	0.024** (2.42)	0.021* (1.62)
Razón entre Capital – Mano de obra	0.364** (2.69)	0.386** (2.94)	0.364*** (3.38)	0.386*** (5.09)
Test F para OLS vs. EF	Valor de P = 0.000 (Rechaza OLS)			
Test de Breusch y Pagan para OLS vs. EA	Var(u) = 0 (Rechaza OLS)			
Test de Hausman ^a	0.038	0.037		
Test de Pesaran	0.034	0.017		
Test de Wald	0.000	0.000		
Test de Wooldridge	0.000	0.000		
No. Obs	160	160	160	160

Fuente: Elaboración propia

t-estadístico entre paréntesis.

*, **, *** implica un nivel de significancia del 10%, 5%, y 1%, respectivamente.

^aSi $Prob > \chi^2 < 0.05$, rechaza efectos aleatorios.

Como se esperaba los coeficientes de tamaño de empresa muestran positiva influencia sobre la eficiencia energética implicando que mayor producción en mediana y gran empresa lidera mayor eficiencia energética. Este hecho puede ser explicado porque los recursos de la gestión son más restrictivos en pequeña y mediana empresa y este tipo de compañías por lo general no destina recursos para gestión energética (DEFRA, 2006).

La productividad laboral muestra un coeficiente positivo y significativo implicando que sectores con mayor productividad laboral presentan mayor eficiencia energética lo cual coincide con la hipótesis planteada en la Cuadro 1. Además, estos resultados sugieren que la relación entre energía y productividad laboral son complementarios y que posiblemente, las inversiones en productos de capital tienen el objetivo de expandir o remplazar las instalaciones de producción o incrementar productividad lo que simultáneamente, genera mejoras en la eficiencia energética (Mulder y Groot, 2004).

Las inversiones muestran un coeficiente positivo y significativo indicando que una mayor inversión lidera una mayor eficiencia energética, estos resultados coinciden con la tendencia de las inversiones durante el periodo de estudio en este sector, donde las inversiones se incrementaron más del 50% contribuyendo en la disminución del agregado de la intensidad energética en el sector manufacturero colombiano (Pardo, 2010).

Los coeficientes de la variable electricidad son positivos evidenciando que mayor consumo de electricidad está asociado con

mejoras en la eficiencia energética. Estos resultados concuerdan con UNEP (1976) y Fleay (2005) quienes demostraron que las mejoras en la eficiencia energética en el sector manufacturero son generadas por el cambio en la estructura de las fuentes energéticas donde la sustitución de combustibles de baja eficiencia energética (el carbón y los productos del petróleo) por combustibles más eficientes (electricidad y gas natural) han logrado disminuir la intensidad energética en este sector. Además, la composición de las fuentes energéticas consumidas por un sector industrial es determinante en los resultados de la eficiencia energética. Por lo tanto, es importante incentivar el uso de combustibles limpios para mejorar la eficiencia energética y al mismo tiempo disminuir la emisión de gases efecto invernadero.

El efecto de la razón entre capital y mano de obra es positivo y significativo demostrando que las mejoras en capital y mano de obra son importantes en los avances de la eficiencia energética en los SIEs en Colombia.

Los resultados de este análisis sugieren que el factor principal que ha determinado los progresos en la eficiencia energética en los SIEs en Colombia es el cambio tecnológico. De ahí, la necesidad de diseñar políticas energéticas que incentiven la transferencia y aplicación adecuada de nuevas tecnologías con el fin de mejorar la productividad y la eficiencia energética en los sectores productivos colombianos, especialmente en la pequeña y mediana empresa estimulando la adopción y aplicación de tecnologías y prácticas de gestión energética.

4. Conclusiones

DEA es utilizado en este estudio para calcular índices de eficiencia energética entre 1998 a 2005 para los SIEs en Colombia. Entre los factores analizados como determinantes de la eficiencia energética se incluyeron productividad laboral, tamaño de empresa, estructura energética e inversiones, que se utilizaron como variables independientes en un análisis de regresión aplicando técnicas de datos paneles.

El modelo DEA formulado en este estudio es adecuado para revisar la eficiencia energética desde la perspectiva de la conservación de la energía y la reducción de la contaminación ambiental por el consumo de energía. Los resultados señalan que la gran mayoría de los SIEs colombianos lograron mejorar este índice, igualmente se pudo establecer que se disminuyó la intensidad energética durante el periodo de estudio, demostrando que la energía como factor productivo es una variable clave dentro de la estructura productiva y el desarrollo tecnológico.

En una segunda etapa de este ejercicio, el análisis de regresión utilizando técnicas de datos paneles mostró que en los SIEs la productividad laboral y la razón entre capital y mano de obra están positivamente asociadas con los resultados de la eficiencia energética.

A partir de la metodología utilizada, los test de dependencia de sección cruzada, heterocedasticidad y correlación serial, demostraron que los índices a partir de DEA y las técnicas de datos paneles son adecuados para analizar la eficiencia energética teniendo en cuenta (de forma paralela) la intensidad energética como indicador tradicional de la eficiencia energética.

Los resultados de este estudio muestran varias implicaciones para la política energética colombiana, donde los progresos en la eficiencia energética son un factor importante para lograr la productividad y la competitividad en el sector industrial. Además, es primordial el diseño de instrumentos adecuados para la pequeña y mediana industria con el fin de que se mejoren los usos de la energía a través de otras prácticas, cambio tecnológico e innovación. Este trabajo también sugiere que las políticas energéticas diseñadas para la industria manufacturera deben combinar diferentes instrumentos que generen resultados efectivos traducidos en mayor eficiencia energética, productividad y competitividad. Se hace necesario realizar futuras investigaciones con el fin de determinar cuáles son los incentivos y las barreras para optimizar la eficiencia energética en el sector productivo colombiano y a partir del modelo presentado en este trabajo se podrían simular diferentes escenarios con el fin de determinar mejores estrategias que incentiven el uso eficiente de la energía en el sector industrial.

Bibliografía

- Apostolakis B. (1990). Energy—capital substitutability/complementarity: The dichotomy. *Energy Economics* 12, 48-58.
- Asia Pacific Energy Research Centre (APEREC) (2000). Energy efficiency indicators. *A study of energy efficiency indicators for industry in APEC Economies*. APEC # 00-RE-0.1.7.

- Baltagi B., Q. Li. (1990). A Lagrange multiplier test for the error components model with incomplete panels. *Econometric Reviews* 9, 103–107.
- Banker R., Natarajan, R. (2008). Evaluating contextual variables affecting productivity using data envelopment analysis. *Operations Research* 56, 48–58.
- Barbour I., Brooks H., Lakoff S., Opie J., (1982). *Energy and American Values*. New York: Praeger Publishers, 2.
- Baum C., (2001). Residual diagnostics for cross-section time series regression models. *The Stata Journal* 1, 101–104.
- Birol F., Keppler J. (2000). Prices, technology development and the rebound effect. *Energy policy* 28, 457-469.
- Boyd G., Pang J., 2000. Estimating the linkage between energy efficiency and productivity. *Energy Policy* 28, 289-296.
- Breusch T., Pagan R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *Review of Economic Studies* 47, 239–253.
- Coelli, T., Prasada D., and Battese, G., 1997. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Kluwer Academic Publisher, Australia.
- Coelli, T., Prasada D., O'Donnell, C. and Battese, G., 2005. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. 2nd Ed., Springer, New York.
- Cotte, A., 2011. Estimating Effectiveness of the Control of Violence and Socioeconomic Development in Colombia: An Application of DEA and Data Panel Approach. *Social Indicators Research*. DOI: 10.1007/s11205-010-9772-7
- Debreau, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica* 19, 273–290.
- Driscoll J., Kraay A., (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Review of Economics and Statistics* 80, 549-560.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) (2006). *Policy Options to Encourage Energy efficiency in the SME and public sectors*. www.defra.gov.uk
- Drukker D., (2003). Testing for serial correlation in linear panel-data models. *The Stata Journal* 3, 168–177.
- Farrel M., 1957. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, A CXX*, Part 3, 253-290.
- Fleay B., 2005. *Energy quality and economic effectiveness*. <http://www.aspoaustralia.org.au/References/Fleay%20Energy%20quality%20%20Nov%2005.pdf>
- Greene, W., (2011). *Econometric Analysis*. Pearson Education; Global ed. of 7th revised ed. Edition.
- Hoff, A. (2007). Second stage DEA: Comparison of approaches for modelling the DEA score. *European Journal of Operational Research* 181, 425–435.
- Hoechle D. (2007). Robust standard errors for panel regressions with cross-section

- nal dependence. *The Stata Journal* 7, 281-312
- Inter Academy Council (IAC) (2007). *Lighting the way*. IAC report 11840. www.interacademycouncil.net/CMS/Reports/
- International Energy Agency (IEA), (2007). *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions*. France.
- International Energy Agency (IEA), (2008). *Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency. Key Insights from IEA Indicator Analysis*. http://www.iea.org/papers/2008/indicators_2008.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2007). *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. Mitigation*. Working Group III Report "Mitigation of Climate Change" Cambridge University Press. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg3.htm>
- Klein Y., Robison D. (1992). Energy Efficiency, Fuel Switching, and Environmental Emissions: The Case of High Efficiency Furnaces. *Southern Economic Journal* 58, 1088-1094.
- López J. Fernández S. Morales M., 2007. Application of the skill DEA (Data Envelopment Analysis) in the determination of efficiency of centers of costs of production. *Scientia et Technica* 37, 395-400 (En español).
- Matera P., Dubro A., Gradel Y., Yompsom R., Gordon K., Foshay E. (2009). *Job Quality in the New Green Economy*. A report by Good Job First <http://www.goodjobsfirst.org/pdf/gjfgreenjobsrpt.pdf>
- McDonald, J. (2008) Using least squares and Tobit in second stage DEA efficiency analyses. *European Journal of Operational Research* 197, 792-798.
- Mukherjee K., 2008. Energy use efficiency in U.S. manufacturing: A nonparametric analysis. *Energy Economics* 30, 76-96.
- Mulder P., Groot H. (2004). *International comparisons of sectoral energy- and labour-productivity performance*. Tinbergen Institute Discussion Paper. TI 2004-007/3.
- Pardo M.C.I. (2010). Investments and Energy Efficiency in Colombian Manufacturing Industries. *Energy & Environment* 21, 545-562.
- Pardo M.C.I. (2011). Energy efficiency development in German and Colombian non-energy-intensive sectors: a non-parametric analysis. *Energy Efficiency* 4, 115-131
- Pesaran M. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. *Cambridge Working Papers in Economics No. 0435*.
- Pardo M.C.I., Cotte A., (2011). Las tendencias de la pobreza y la desigualdad: Una evidencia para los departamentos de Colombia. *Ensayos Revista de Economía* (en impresión).
- Phylipsen, G., Blok, K., Worrell, E. (1998). *Handbook on International Comparisons of Energy Efficiency in the Manufacturing Industry*. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University.
- Pombo C., Taborda R., (2006). Performance and efficiency in Colombia's power

- distribution system: Effects of the 1994 reform. *Energy Economics* 28, 339–369.
- Restrepo M., Villegas G., (2007). Ranking Colombian research groups applying Data Envelopment Analysis. *Journal of Engineering faculty of Antioquia University* 42, 105-119. (En español).
- Sarica K., Or I., (2007). Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis. *Energy* 32, 1484–1499.
- Schotter A., (2009). *Microeconomics. A modern approach*. South Western Cengage Learning, USA.
- Schuschny A., (2007). *The DEA method and its application to energy sector and CO2 emissions in Latin American and the Caribbean*. CEPAL, Statistic and Prospective studies. (En español).
- Steinbuks J., (2010). Inter-fuel Substitution and Energy Use in the UK Manufacturing Sector. EPRG Working Paper 1015. *Cambridge Working Paper in Economics* 1032.
- Swedish Energy Agency (SEA), (2009b). *Swedish Cleantech opportunities*. A market overview from the Swedish Energy Agency. www.swedishenergyagency.se
- United Nations (UN), (2009). *Increasing the Competitiveness of Small and Medium-Sized Enterprises through the Use of Environmentally Sound Technologies: Assessing the Potential for the Development of Second-Generation Biofuels in the ESCWA Region*. Report E/ESCWA/SDPD/2009/5.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), (2010). *Policy Reforms for Energy Efficiency Investments. Financing Energy Efficiency Investments for Climate Change Mitigation*. <http://www.unece.org/energy/se/pdfs/>
- United Nations (UNEP), 1976. *Increased Energy Economy and Efficiency*. A study on measures taken or which might be taken to achieve increased energy efficiency.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2008). *Policies for promoting industrial energy Efficiency in developing countries and transition economies*. www.unido.org/file-storage/download/?file_id=65693
- United Nations Foundation (UNF), 2007. *Realizing the Potential of Energy Efficiency. Targets, Policies, and Measures for G8 Countries*. Executive summary.
- Unit of mines and energy planning, (UPME), 2001. *Energy efficiency in Colombian glass industry*. (En español)
- Wooldridge J., (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wuppertal Institute (WI), (2009). *Evaluate Energy Savings EU, Intelligent Energy Europe. Measuring and reporting energy savings for the Energy Services Directive – How it can be done*. Results and recommendations from the EMEEES project.

http://www.evaluateenergy-savings.eu/emeees/en/publications/reports/EMEEES_Final_Publishable_Report.pdf

Zhou P., Ang B., 2008. Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. *Energy Policy*, doi:10.1016/j.enpol.2008.03.041