



**Comisión de Regulación  
de Energía y Gas**

# **ASESORÍA PARA DEFINIR EL FACTOR DE PRODUCTIVIDAD DE LA ACTIVIDAD DE COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A USUARIOS REGULADOS EN COLOMBIA**

## **Segundo Informe V.4**

### **Bogotá, Marzo de 2011**

# **ASESORÍA PARA DEFINIR EL FACTOR DE PRODUCTIVIDAD DE LA ACTIVIDAD DE COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A USUARIOS REGULADOS EN COLOMBIA**

## **Segundo Informe V.4**

### **Resultados de la estimación del Factor de Productividad**

**Preparado para:**

**COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**Preparado por:**

**UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE NUESTRA SRA DEL  
ROSARIO**

**Bogotá, Marzo de 2011**

## **Control de Distribución**

Copias de este documento han sido entregadas a:

<b>Nombre</b>	<b>Dependencia</b>	<b>Empresa</b>	<b>Copias</b>
Dr. Carlos Fernando Erazo	Experto Comisionado	Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG	1 (Dura) 1 (CD)

Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a Manuel Ramírez Gómez – Director Consultoría.

## **Control de revisiones**

<b>Revisión No.</b>	<b>Aspecto revisado</b>	<b>Fecha</b>
1	Primer Informe V.1	03/09/2010
2	Primer Informe V.2 (Incluye los comentarios de CREG de acuerdo con la comunicación Radicado CREG No. S-2010-003801).	08/10/2010
3	Primer Informe V.3 (Incluye los comentarios de CREG de acuerdo con la comunicación Radicado CREG No. S-2010-004445).	12/11/2010
1	Segundo Informe V.1	12/11/2010
2	Segundo informe V.2 (Incluye los comentarios CREG No. S-2010-005049)	26/11/2010
3	Segundo informe V.3 (Incluye los comentarios a reunión CREG 1. Diciembre 2010)	15/12/2010
4	Segundo informe V.4 (Incluye los comentarios CREG Radicado No. S-2010-005809, 11 febrero 2011)	11/02/2011
5	Segundo informe V.4 (Incluye los comentarios CREG 14 febrero 2011)	01/03/2011

## Control de responsables

Número de Revisión		Primer Informe V.1	Primer Informe V.2	Primer Informe V.3	Segundo Informe V.1	Segundo Informe V.2	Segundo Informe V.3	Segundo Informe V.4	Segundo Informe V.4
Elaboración	Nombre	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo
	Firma								
	Fecha	03/09/2010	08/10/2010	12/10/2010	12/11/2010	26/11/2010	15/12/2010	11/02/2011	01/03/2011
Revisión	Nombre	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo	Equipo de Trabajo
	Firma								
	Fecha	03/09/2010	08/10/2010	12/10/2010	12/11/2010	26/11/2010	15/12/2010	11/02/2011	01/03/2011
Aprobación	Nombre	CREG	CREG	CREG	CREG	CREG	CREG	CREG	CREG
	Firma								
	Fecha	03/09/2010	08/10/2010	12/10/2010	12/11/2010	26/11/2010	15/12/2010	11/02/2011	01/03/2011

Equipo de Trabajo: MRG, CQM, LHG, RTR, RRB.

## **Tabla de Contenido**

1. Introducción .....	8
2. Alternativas metodológicas para el cálculo de factor de productividad para el marco regulatorio “Price cap” .....	8
2.1 Marco de referencia básico para el “Price-cap” .....	8
2.1.1 Extensiones .....	9
3. Estimación de índice de productividad de Malmquist mediante estimación DEA .....	12
4. Datos .....	15
4.1.1 Observaciones .....	17
4.1.2 Variables .....	20
4.1.3 Fuente de datos .....	29
5. Resultados .....	30
5.1 DEA .....	30
5.2 Índice de Productividad de Malmquist .....	32
5.2.1 Descomposición efecto respecto a la frontera .....	33
5.2.2 Descomposición efecto desplazamiento de la frontera .....	34
6. Estimación de función de producción con metodología econométrica y extracción de productividad a través de la metodología Oley – Pakes / Levinsohn - Petrin. ....	34
6.1 Metodología Oley - Pakes .....	34
6.2 Estimación con incremento en la información .....	38
7. La productividad en la economía colombiana. ....	40
7.1 Interpretación, alcance, limitación y recomendaciones a partir de los resultados	40
8. Bibliografía .....	42

## **Lista de Figuras**

Figura 3.1 Índice de productividad en el caso de cambio tecnológico .....	13
Figura 4.1 Dispersión variables insumo .....	22
Figura 4.2 Barras para variables insumo.....	23
Figura 4.3 Dispersión variables producto .....	26
Figura 4.4 Dispersión variables producto ambientales / discrecionales.....	27
Figura 4.5 Barras para variables producto .....	28

## **Lista de Tablas**

Tabla 3.1 Ejemplo de las 4 mediciones de eficiencia .....	15
Tabla 4.1 Total de empresas comercialización de energía eléctrica.....	18
Tabla 4.2 Empresas usadas en estimación.....	19
Tabla 4.3 Variables insumo / producto.....	29
Tabla 4.4 Fuente datos.....	29
Tabla 5.1 Estimación DEA.....	31
Tabla 5.2 Resultados estimación productividad.....	32
Tabla 5.3 Efecto respecto a la frontera.....	33
Tabla 5.4 Efecto desplazamiento de la frontera.....	34
Tabla 6.1 Función de producción metodología Oley-Pakes .....	38
Tabla 6.2 Función de producción metodología MCO .....	39
Tabla 6.3 Función de producción metodología Oley-Pakes .....	39
Tabla 7.1 Resumen de resultados productividad en términos porcentuales .....	41

## **1. Introducción**

En cumplimiento de los términos del Contrato entre la Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario y la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG para la “Asesoría para definir el factor de productividad de la actividad de comercialización de energía eléctrica a usuarios regulados en Colombia”, a continuación se presenta el Segundo Informe V.4 del estudio, el cual presenta los resultados de estimación del factor de productividad empleando la metodología propuesta en el Capítulo 6 en el Primer Informe, la cual se fundamenta en el análisis tipo DEA.

En la sección 2 se discuten alternativas de medición de cálculo de factor de productividad. En la sección 3 se hace una descripción de los pasos necesarios para obtener una medida de productividad mediante la metodología DEA. En la sección 4 se presentan los datos usados en la estimación DEA. En sección 5 los resultados de estimación DEA y productividad. Sección 6 resultado de estimación econométrica de función de producción. En la sección 7 una presentación de otros resultados de estimación de productividad de industrias alternativas en Colombia. El Apéndice presenta los resultados detallados de estimación e información relacionada con los datos usados.

## **2. Alternativas metodológicas para el cálculo de factor de productividad para el marco regulatorio “Price cap”**

Adicional a la metodología empleada en este informe, existen alternativas para calcular el factor de productividad con objetivo de ser usado en la regulación mediante “price-cap”. Una parte de un modelamiento financiero de las firmas (basado en expectativas), la otra alternativa se basa en comparar la productividad total de la firma (industria regulada) con respecto a la de la economía. Esta presentación se hace con fines informativos, los resultados de este informe se hacen en base a la estimación de eficiencia y productividad mediante DEA y estimación econométrica de función de producción.

### **2.1 Marco de referencia básico para el “Price-cap”**

La idea es replicar las fuerzas de un mercado competitivo ya que estas permiten que las firmas obtengan ganancias en productividad y de esta manera, puedan pasar estas ganancias a los clientes en la forma de precios bajos. Por tanto, si todas las industrias en una economía fueran competitivas, los precios de los productos en la economía crecerían a una tasa igual a la diferencia entre la tasa de crecimiento de los precios de los insumos y la tasa del crecimiento en productividad. De esta manera, el factor X debería ser cero



cuando la industria regulada es capaz de lograr exactamente la misma tasa de crecimiento de la productividad y enfrenta la misma tasa de inflación en los precios de los insumos como otros sectores competitivos de la economía.

El factor debería reflejar el grado en el que: 1. La industria regulada es capaz de incrementar su productividad más rápido que otros sectores de la economía. 2. Los precios de los insumos empleados en la industria regulada crecen menos rápido que lo hacen los precios de insumos que enfrentan otros sectores de la economía. Si la industria regulada es capaz de lograr un crecimiento de la productividad más rápido (debido a un cambio tecnológico más rápido) o tener inflación en los insumos menor que otros sectores de la economía, entonces la industria regulada debería transferir los beneficios asociados a esto, hacia los consumidores en forma de menores precios.

$$\text{Factor} - X = \text{Diferencial entre las tasas del crecimiento en productividad} \\ + \text{Diferencia en crecimiento de precios de insumos.}$$

## **2.1.1 Extensiones**

### **2.1.1.1 Teniendo en cuenta un periodo limitado en el control regulatorio**

El marco de referencia básico del “price-cap” se implementa cuando los datos de productividad y precios de insumos, que pertenecen exclusivamente a las operaciones de la firma regulada, son conocidos. Además, productos conjuntos y factores en común de producción hacen imposible el empleo de datos agregados para derivar las tasas de crecimiento de la productividad y la de crecimiento de precios de insumos de manera separada para aquellos servicios regulados y los no regulados.

La principal modificación es que el factor X debe reducirse cuando los precios de los servicios no regulados crecen más despacio que la diferencia entre la tasa de crecimiento de los precios de insumos y la tasa de crecimiento de la productividad en la industria regulada. Si los precios de los servicios no regulados crecen más despacio que lo harían si estos reflejaran solo las ganancias anticipadas en productividad e inevitables aumentos en precios, entonces la firma está transmitiendo a los consumidores de servicios no regulados más beneficios que lo que decreta la regulación de “price-cap” en la firma. Entonces, sería apropiado permitir una reducción compensada en los beneficios que deben ser enviados a los clientes de servicios regulados. Esta reducción se obtiene reduciendo el factor X.

$$\text{Factor} - X = \text{Factor} - X \text{ hallado con la anterior formula} -$$

$$[\text{tasa de crecimiento de los precios de insumos de la firma regulada} -$$

*tasa de crecimiento de la productividad] }*

#### **2.1.1.2 Teniendo en cuenta cambios estructurales en la industria regulada**

La regulación por “price-cap” trata de separar los precios autorizados de los costos obtenidos. De esta manera, se generan incentivos fuertes para que la firma regulada reduzca sus costos operativos. Por el contrario, la regulación por tasa de retorno (rate of return or ROR) puede dar incentivos limitados para la reducción de costos en la medida en que tiene en cuenta los costos operativos de la firma

El fortalecimiento de las fuerzas competitivas son otro factor estructural que generan cambios en la determinación del factor x. El efecto de incrementar la competencia en el factor X es ambiguo sobretodo en el corto plazo:

- Un aumento en la competencia generado por un cambio en el régimen regulatorio, puede obligar a la firma regulada a operar de manera más eficiente y a tener mayores tasas de crecimiento de la productividad, por tanto, esto implica mayores valores de factor X.
- Aumentar las fuerzas competitivas hace que hayan nuevas firmas entrantes, lo cual puede resultar en una reducción inevitable en la tasa de crecimiento de los oferentes incumbentes. Esto conduce a tener un x factor más bajo

#### **2.1.1.3 Teniendo en cuenta la endogeneidad en la tasa de inflación de la economía entera**

El modelo básico asume que la tasa de inflación de la economía no está afectada directamente por los precios en la industria regulada, sin embargo, este supuesto no es realista en pequeñas economías en desarrollo donde los productos regulados constituyen una gran fracción de la producción total de la economía. La principal modificación es debilitar el link entre la tasa de inflación de la economía y la tasa autorizada de aumento en precios en la industria regulada. La diferencia entre las dos tasas de inflación debería ser generalmente más grande a medida que el sector regulado es más grande relativo a la economía como un todo.

#### **2.1.1.4 Teniendo en cuenta la competencia imperfecta en la economía**

En industrias que no son competitivas, todas las ganancias netas en productividad de los inevitables aumentos en costos no necesariamente son transmitidos a los clientes en forma de precios menores. De esta manera, la tasa de inflación fuera del sector regulado puede exceder la tasa de inflación que puede llegar si todos los mercados son competitivos. Cuando este es el caso, un mayor factor X puede ser apropiado para

compensar en la medida en que la tasa de inflación de la economía excede la tasa que habría en un ambiente competitivo.

#### **2.1.1.5 Cambios en costos exógenos**

En algunos casos, los reguladores permiten que la firma ajuste cambios en los precios que están fuera de su alcance incluyendo componentes de costo exógenos en la fórmula del “price-cap”, llamado factor Z.

#### **2.1.1.6 Modelo financiero Forward-Looking**

El regulador hace predicciones de los costos, ingresos y beneficios de la firma regulada en un periodo de tiempo dado. El regulador escoge el factor X que asegura que (en ausencia de mejoras más grandes en la eficiencia que las esperadas) la tasa interna de retorno de la firma no es más grande que el retorno normal en beneficios, usualmente medido por la media móvil del costo del capital.

#### **2.1.1.7 Enfoque del diferencial en el factor de productividad total**

El regulador calcula el factor de productividad total de la firma (TFP) y lo compara con el TFP de la economía. También, el regulador debería comparar los precios de insumos de la firma (o los de la industria preferiblemente) con los precios de insumos de la economía en general.

Se calcula como:

$$\begin{aligned} \text{Factor } X &= \text{Diferencia entre las tasas de crecimiento de los precios de insumos} \\ &+ \text{Diferencia entre las tasas de crecimiento del factor de productividad} \\ &\quad (\text{el diferencial de TFP}) \end{aligned}$$

#### **2.1.1.8 Dividendo de productividad para los consumidores**

Algunos reguladores incluyen un dividendo a la productividad del consumidor o “stretch” factor a los topes en precios. Este agrega un monto de productividad con el objetivo de dar beneficios adicionales a los clientes. Este factor adicional reconoce que en muchos casos las ganancias en eficiencia. La introducción del “stretch” factor se justifica solamente cuando la introducción de un régimen regulatorio tipo “price cap” mejora significativamente los incentivos de eficiencia.

### **3. Estimación de índice de productividad de Malmquist mediante estimación DEA**

La obtención de un índice de productividad de Malmquist (MPI por las iniciales en inglés de Malmquist Productivity Index) implica la estimación de eficiencia usando la metodología Data Envelopment Analysis (DEA).

Las medidas de eficiencia provenientes de DEA pueden ser obtenidas mediante un ejercicio en el cual se busca reducir los insumos para alcanzar un nivel de producto, o incrementar el producto, dados unos insumos. Adicionalmente la estimación de eficiencia puede llevarse a cabo contabilizando por rendimientos variables de escala o simplemente rendimientos constantes de escala.

La estimación de eficiencia entre las opciones de reducción de insumos o incremento de producto es la misma. Este es un resultado correspondiente a la dualidad entre minimizar costos o maximizar beneficios. Para el caso de estimación de eficiencia, la selección del modelo de reducción de insumos para un nivel de producto fijo o incremento de producto para un nivel de insumos fijos se determina por la facilidad y posibilidad de interpretar los resultados de la estimación a la realidad de producción estudiada. Si se tiene un caso en el cual los insumos son fijos y de difícil reemplazo, la estimación en dirección de incremento de producto es la apropiada, se asume que se aumenta la eficiencia gracias al aumento del producto empleando los mismos insumos. Si se tiene un caso en el cual el nivel de producto es fijo, la aproximación de estudiar eficiencia mediante la reducción de insumos es la apropiada.

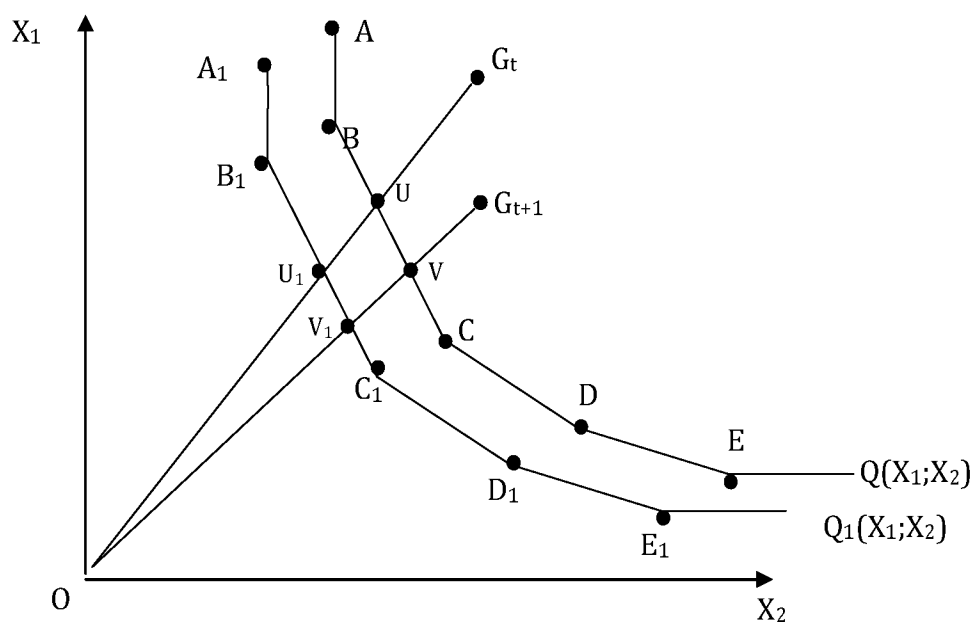
La selección de estimación de eficiencia contabilizando por rendimientos variables de escala o rendimientos constantes se determina por la posibilidad de contabilizar apropiadamente la eficiencia cuando existen unidades de producción con insumos o productos con valores relativamente diferentes al promedio del resto de unidades de producción y su comportamiento implica la explotación de rendimientos crecientes o decrecientes de escala. OK

Para obtener un MPI es necesaria la estimación de cuatro medidas de eficiencia DEA. Estas medidas se presentan en la ecuación

$$MPI = \left[ \frac{\left( \frac{OV}{OG_{t+1}} \right) \left( \frac{OV_1}{OG_{t+1}} \right)}{\left( \frac{OU}{OG_t} \right) \left( \frac{OU_1}{OG_t} \right)} \right]^{0.5}$$

y en la Figura 3.1

Figura 3.1 Índice de productividad en el caso de cambio tecnológico



Source: (Thanassoulis, 2000)

La apropiada estimación de eficiencia y posteriormente del índice de productividad MPI implica tener información completa de insumos y productos para dos períodos de tiempo. Este caso es representado en la Figura 3.1, que incluye dos insumos  $X_1$  y  $X_2$  para las unidades de producción  $A$  a  $E$  y  $G$  en los períodos  $t$  y  $t + 1$ .

La estimación DEA representada por la distancia radial  $OV / OG_{t+1}$  en la ecuación y en la gráfica representa una medida de eficiencia para la unidad  $G_{t+1}$  con respecto a la unidad  $V$ , que hace parte de la frontera de producción en el período  $t$ . La unidad de producción  $V$  corresponde a la combinación lineal entre las unidades  $B$  y  $C$  que se aproxima a la mejor práctica posible en ese momento del tiempo.

La estimación DEA representada por la distancia radial  $OU / OG_t$  en la ecuación y en la gráfica representa una medida de eficiencia para la unidad  $G_t$  con respecto a la unidad  $U$ , que hace parte de la frontera de producción en el período  $t$ . La unidad de producción  $U$  corresponde a la combinación lineal entre las unidades  $B$  y  $C$  que se aproxima a la mejor práctica posible en ese momento del tiempo.

La estimación DEA representada por la distancia radial  $OV_1 / OG_{t+1}$  en la ecuación y en la gráfica representa una medida de eficiencia para la unidad  $G_{t+1}$  con respecto a la unidad  $V_1$ , que hace parte de la frontera de producción en el período  $t + 1$ . La unidad de producción  $V$  corresponde a la combinación lineal entre las unidades  $B$  y  $C$  que se aproxima a la mejor práctica posible en ese momento del tiempo.

La estimación DEA representada por la distancia radial  $OU_1 / OG_t$  en la ecuación y en la gráfica representa una medida de eficiencia para la unidad  $G_t$  con respecto a la unidad  $U_1$ , que hace parte de la frontera de producción en el período  $t + 1$ . La unidad de producción  $U_1$  corresponde a la combinación lineal entre las unidades  $B$  y  $C$  que se aproxima a la mejor práctica posible en ese momento del tiempo.

La construcción del índice de productividad de Malmquist produce un número índice que refleja el nivel de productividad entre los períodos analizados. Es decir si el MPI ofrece un valor de 1.01 se interpreta que hubo un incremento de 1% en la productividad. De la misma manera, si se obtiene un valor de 0.98, se afirma que se ha presentado una reducción en la productividad de 2% entre los períodos analizados.

Es posible descomponer el incremento en productividad ofrecido por el índice de productividad de Malmquist en dos componentes que son resultado directo de la construcción del índice. El primero un efecto respecto a la frontera y efecto desplazamiento de la frontera.

$$MPI = \left[ \left( \frac{OV_t}{OG_{t+1}} \div \frac{OU}{OG_t} \right) \times \left( \frac{OV}{OU} \div \frac{OV_1}{OU_1} \right) \right]^{0.5}$$

*Efecto respecto a la frontera*
*Efecto desplazamiento de la frontera*

Las cuatro medidas de eficiencia se obtienen realizando cuatro estimaciones usando datos para dos años. Por ejemplo: para los años 2006 y 2007 la cuatro corridas se presentan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Ejemplo de las 4 mediciones de eficiencia**

DEA 0-1 2006-2007	DEA 1-0 2006-2007	DEA 0-0 2006	DEA 0-0 2007
$\frac{OU_t}{OG_t}$	$\frac{OV}{OG_{t+1}}$	$\frac{OU}{OG_t}$	$\frac{OV_1}{OG_{t+1}}$

El efector respecto a la Frontera se obtiene como el cociente entre los resultados del DEA 0-0 2007 y el DEA 0-0 2006. El efecto de desplazamiento de la Frontera se obtiene indirectamente al dividir el MPI por el efecto respecto a la frontera.

La interpretación de los dos efectos es la siguiente. El efecto respecto a la frontera es una medida de que tan cercano se encuentra *una compañía* respecto a la frontera en el período  $t + 1$  respecto al período  $t$ . Si el efecto es igual a 1, la compañía tiene la misma distancia en períodos  $t$  y  $t + 1$ , si es superior a 1, la compañía se ha movido acercándose a la frontera en el período  $t + 1$ , si es menor a 1, se ha alejado.

El efecto desplazamiento de la frontera captura el movimiento de la frontera entre períodos  $t$  y  $t + 1$ . Para el caso que el efecto desplazamiento de la frontera sea superior a 1, se interpreta como un incremento en la productividad de *la industria*. Si fuese igual a 1, representa que la frontera no se desplazó entre los períodos  $t$  y  $t + 1$ . Cuando el efecto desplazamiento de la frontera es inferior a 1 es señal de que la industria registro una reducción en productividad, o que la utilización de insumos fue superior entre períodos  $t$  y  $t + 1$ .

#### 4. Datos

Parte del éxito de una estimación DEA y su extensión a obtener un MPI se basa en gran medida en la calidad de la información usada para construir las variables de insumos y productos necesarias para la estimación.

Una estimación de eficiencia DEA se beneficia de utilización de variables físicas en contraposición a la utilización de variables en medidas monetarias. Cuando se utilizan

variables en medidas físicas la interpretación de la medida de eficiencia y su posible incremento es directa, lo que no ocurre siempre con una medida monetaria en donde se combina un efecto precio.

Sin embargo una solución básica para el caso de tener que usar variables monetarias es construir cocientes entre este tipo de variables de manera que se puede llegar a anular el efecto precio. Una ventaja adicional en la construcción de cocientes como variables para una estimación DEA es la normalización de variables que empleadas individualmente pueden comportarse como observaciones atípicas.

Esta es una solución adicional al tipo de estimación que incluye control por retornos variables de escala. Cuando entre las unidades de producción analizadas existe un grupo de observaciones que parece ser más grande de lo usual, la normalización hace que se ajusten los valores entre empresas de diferentes magnitudes.

Otra dimensión de la calidad de la información corresponde a su observación continua para los períodos de tiempo analizados. Cuando una variable de una unidad de producción no se observa en un período de tiempo, toda la unidad de observación debe ser removida, ya que se necesita su presencia en todo el período analizado.

Finalmente cuando las variables ideales para estimación de eficiencia no se encuentran a disposición del analista, se recurre a medidas aproximadas o variables proxy a su disposición.

En la estimación de eficiencia y productividad resumida en este documento se enfrentan varias de las dificultades señaladas anteriormente para llegar a un cálculo.

La estimación cuenta con cuatro períodos de análisis, 2006, 2007, 2008 y 2009. Para un conjunto de 18 empresas, tres (3) indicadores como variables insumo y cuatro (4) indicadores usados como variable producto, entre los cuales dos (2) son caracterizados como variables ambientales o no discrecionales. Existe una observación por empresa para cada año. No es posible y no tiene sentido para el análisis de productividad construir una base de datos discriminada por sectores, usuarios, o subclasificaciones al interior de las empresas. Una base de datos apropiada para el análisis de productividad mediante la metodología DEA implica la recolección de información para la unidad de producción y no subdivisiones de las unidades de producción.

Tener cuatro períodos de análisis implica que se obtienen tres medidas de productividad, cada una corresponde a una medida de productividad entre 2006 – 2007, 2007 – 2008 y 2008 - 2009.



La información utilizada para la estimación ha sido obtenida del Sistema Único de Información de servicios públicos (SUI) y de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

#### **4.1.1 Observaciones**

La CREG ofreció información financiera depurada por actividad de comercialización de energía eléctrica para las siguientes empresas (Tabla 4.1).

**Tabla 4.1 Total de empresas comercialización de energía eléctrica**

Empresa
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CALDAS S.A. E.S.P.
CENTRALES ELÉCTRICAS DE NARIÑO S.A. E.S.P.
CENTRALES ELÉCTRICAS DEL CAUCA S.A. E.S.P.
CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P.
CODENSA S.A. E.S.P.
COMPAÑIA DE ELECTRICIDAD DE TULUA S.A.
COMPAÑIA DE ELECTRICIDAD DEL CAUCA S.A. E.S.P.
COMPAÑIA ENERGÉTICA DEL TOLIMA S.A. E.S.P.
DISTRIBUIDORA DEL PACÍFICO S.A. E.S.P.
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A.
ELECTRIFICADORA DEL CAQUETÁ S.A. ESP.
ELECTRIFICADORA DEL CARIBE S.A. E.S.P.
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A. E.S.P.
ELECTRIFICADORA DEL META S.A. ESP.
EMPRESA DE ENERGÍA DE ARAUCA E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DE BOYACÁ S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DE CASANARE S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DE CUNDINAMARCA S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DE PEREIRA S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DEL BAJO PUTUMAYO S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DEL PACÍFICO S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DEL PUTUMAYO S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DEL QUINDIO S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DEL VALLE DE SIBUNDOY S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE S.A. E.S.P.
EMPRESA MUNICIPAL DE SERVICIO PÚBLICO DE CARTAGENA DEL CHAIRA
EMPRESA MUNICIPALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA S.A. E.S.P.
EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI EICE
EMPRESAS MUNICIPALES DE CARTAGO S.A. E.S.P.
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P.
RUITOQUE E.S.P.

Desafortunadamente todas estas empresas no incluyen información para variables relevantes y básicas en la estimación de productividad. La información faltante forzó la reducción de la muestra de empresas a: (Ver Tabla 4.2). Un caso importante de exclusión es el de Electricaribe que no reportó valor de activos para el año 2006.

**Tabla 4.2 Empresas usadas en estimación**

CENTRAL HIDROELECTRICA DE CALDAS S.A. E.S.P.
CENTRALES ELECTRICAS DE NARINO S.A. E.S.P.
CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P.
CODENSA S.A. E.S.P.
COMPAÑIA DE ELECTRICIDAD DE TULUA S.A.
COMPAÑÍA ENERGÉTICA DEL TOLIMA S.A. E.S.P.
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A.
ELECTRIFICADORA DEL CARIBE S.A. E.S.P
ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A. E.S.P.
ELECTRIFICADORA DEL META S.A. ESP.
EMPRESA DE ENERGIA DE BOYACA S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGIA DEL BAJO PUTUMAYO S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO S.A. E.S.P
EMPRESA DE ENERGIA DEL PUTUMAYO S.A E.S.P.
EMPRESA DE ENERGIA DEL QUINDIO S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGIA DEL VALLE DE SIBUNDOY S.A. E.S.P.
EMPRESA DE ENERGÍA DE PEREIRA S.A. E.S.P.
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P.

#### **4.1.2 Variables**

En la estimación de un modelo DEA es posible incluir diferentes variables correspondientes a insumos y productos. Esta es una de las ventajas de la metodología DEA a diferencia de estimación econométrica de eficiencia y productividad, en donde la variable producto debe ser única.

Existe una observación por empresa para cada año. No es posible construir una base de datos discriminada por sectores, usuarios, o subclasificaciones al interior de las empresas. Por ejemplo si fuese posible distinguir los costos o valores de cuentas por cobrar para diferentes niveles o tipos de usuarios, no es posible distinguir su distribución geográfica dentro del marco de acción de las empresas distribuidoras. O el número de empleados o capital asignado a la prestación de servicio de un subgrupo de usuarios dentro de una empresa comercializadora de energía.

Las variables usadas en la estimación DEA se discuten a continuación y se resumen en la

Tabla 4.3. Es posible que este conjunto de variables no sea ideal pero, son las variables disponibles. Variables disponibles que han sido examinadas como variables aproximadas apropiadas para la estimación de eficiencia y el índice de productividad y corresponden en su mayoría a la utilización de variables ofrecidas por la CREG como variables depuradas para la actividad de comercialización.

##### **4.1.2.1 Insumos**

En estimación de un modelo DEA es posible incluir diferentes variables correspondientes a insumos. Los resultados de este estudio usaron las siguientes variables:

**Costo de comercialización por usuario.** Esta variable es construida como el cociente entre costo de comercialización y el número de usuarios. La variable refleja el costo por usuario entre empresas en la entrega de energía eléctrica. El objetivo de esta variable reside en que la eficiencia estimada en el DEA puede aumentar al disminuir el costo de ventas por usuarios. La variable costo de comercialización proviene de la información depurada ofrecida por la CREG para este reporte. La variable número de usuarios proviene de la información depurada ofrecida por la CREG para este reporte.

En línea con la reflexión anterior sobre la calidad de la información y las posibilidades para estimar eficiencia y productividad es necesario señalar la necesidad de aproximar la información disponible con la información ideal. Siguiendo principios básicos de análisis económico de una función de producción, bajo cualquier circunstancia se necesita una medida de capital y mano de obra. Para tal efecto se utilizan dos variables más.

**Empleo por usuario.** Esta variable es construida como el cociente entre el número de empleados y el número de usuarios. La variable empleo se construye a partir de la suma del número de empleados y de directivos. Se espera que en la estimación DEA la variable capture el comportamiento del insumo mano de obra y la posibilidad de que una reducción genere incrementos en eficiencia.

Las variables de empleo provienen de la información ofrecida por la CREG. Esta información no fue depurada por la CREG. Fue solicitada mediante Circular 082 de 2010 y enviada al consultor tal como fue entregada por los agentes. La variable número de usuarios proviene de la información depurada ofrecida por la CREG para este reporte.

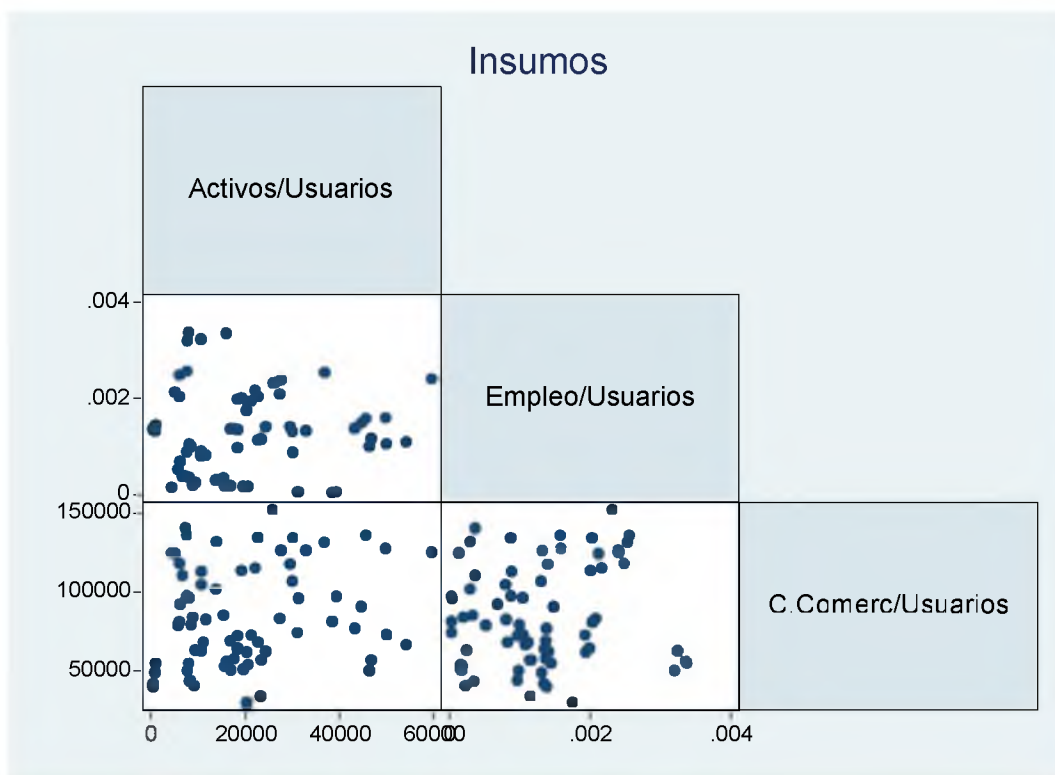
En la gráfica de barras de las variables insumo no se observan observaciones atípicas que puedan generar desviaciones específicas en la estimación de eficiencia y productividad.

**Valor de activos por usuario.** Esta variable es construida como el cociente entre el valor de activos y el número de usuarios. La variable valor de activos se construye a partir de la suma del valor de activos reportado por las empresas de comercialización. Se espera que en la estimación DEA la variable capture el comportamiento del insumo capital y la posibilidad de que una reducción genere incrementos en eficiencia.

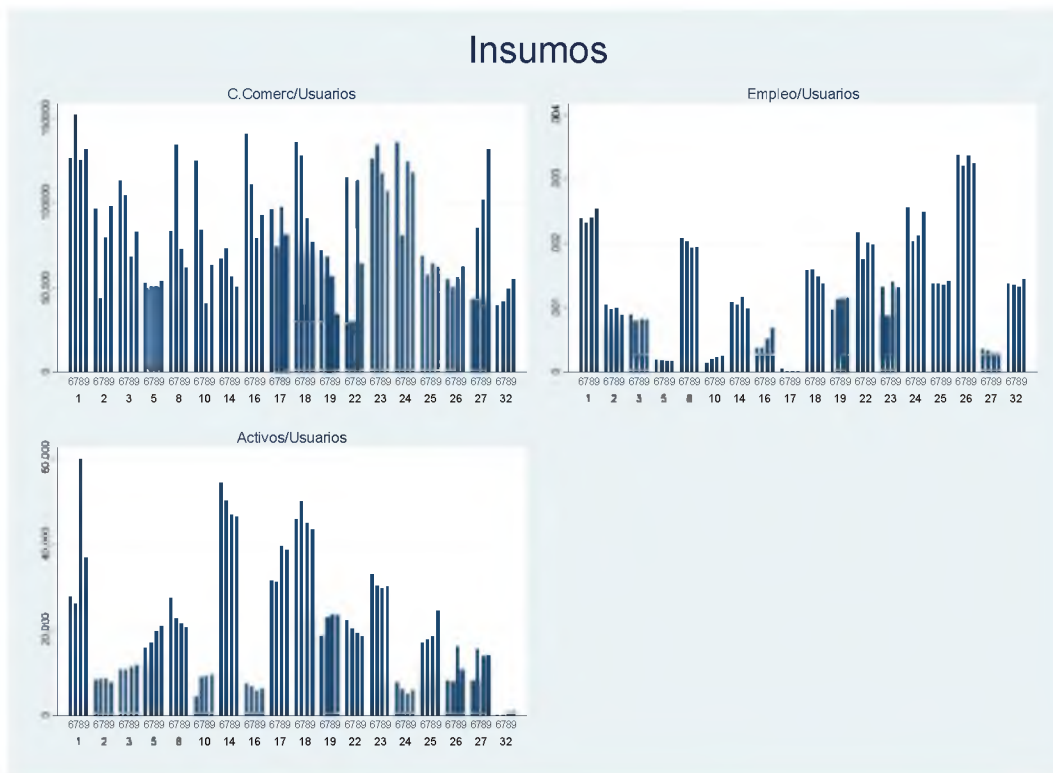
Las variables de valor de activos provienen de la información ofrecida por la CREG. Esta información no fue depurada por la CREG. Fue solicitada mediante Circular 082 de 2010 y enviada al consultor tal como fue entregada por los agentes. La variable número de usuarios proviene de la información depurada ofrecida por la CREG para este reporte.

En la gráfica de barras de las variables insumo no se observan observaciones atípicas que puedan generar desviaciones específicas en la estimación de eficiencia y productividad.

Figura 4.1 Dispersión variables insumo



**Figura 4.2 Barras para variables insumo**



#### 4.1.2.2 Productos

En estimación de un modelo DEA es posible incluir diferentes variables correspondientes a productos.

**Peticiones quejas y reclamos (PQR) por usuario (-1).** El cociente entre PQR y el número de usuarios es usado como una variable producto multiplicado por menos uno. La lógica de la inclusión de este indicador como un producto es que la reducción de peticiones, quejas y reclamos representa un incremento en la calidad del servicio de las empresas comercializadoras de energía. En el uso de esta variable se consideró eliminar las peticiones quejas o reclamos que se ajustaban a la siguiente categorización:

- Respuesta: accede
- Respuesta: Pendiente de respuesta

- Respuesta: accede parcialmente
- Detalle: Falla en la prestación del servicio.

Las PQR correspondientes a esta clasificación es posible que no correspondan completamente a las empresas de comercialización.

La variable peticiones, quejas y reclamos (PQR) proviene del sistema de información SIU. La variable número de usuarios proviene de la información depurada y entregada por la CREG para este reporte.

Esta variable se incluye porque las empresas comercializadoras de energía son el punto de contacto de los clientes y reciben una cantidad importante de peticiones, quejas y reclamos en temas relacionados con solicitudes de conexión, calidad de la lectura de los medidores, liquidación y facturación de los consumos, cobro y recaudo, costo del servicio, suspensión, corte y reconexión del servicio, control de pérdidas no técnicas, gestión de cartera. En general, las PQR son un indicador de la eficiencia y productividad con que se atienden y desarrollan los procesos relacionados con la calidad del servicio al cliente, el core del negocio de la comercialización de energía. En consecuencia, es la variable disponible evaluada que refleja la calidad del servicio al cliente en todos esos aspectos de manera integral

**Cuentas por cobrar (CPC) e ingresos operacionales (-1).** La inclusión del cociente de cuentas por cobrar respecto a los ingresos operacionales sigue la lógica de que una empresa de comercialización de energía tiene como una de sus prioridades la reducción de las cuentas por cobrar en el mediano plazo. Al multiplicar este indicador por menos uno se consigue un efecto de incremento en eficiencia al generar una reducción en las cuentas por cobrar. La variable cuentas por cobrar proviene de la información depurada ofrecida por la CREG para este reporte. La variable ingresos operacionales proviene de la información depurada ofrecida por la CREG para este reporte.

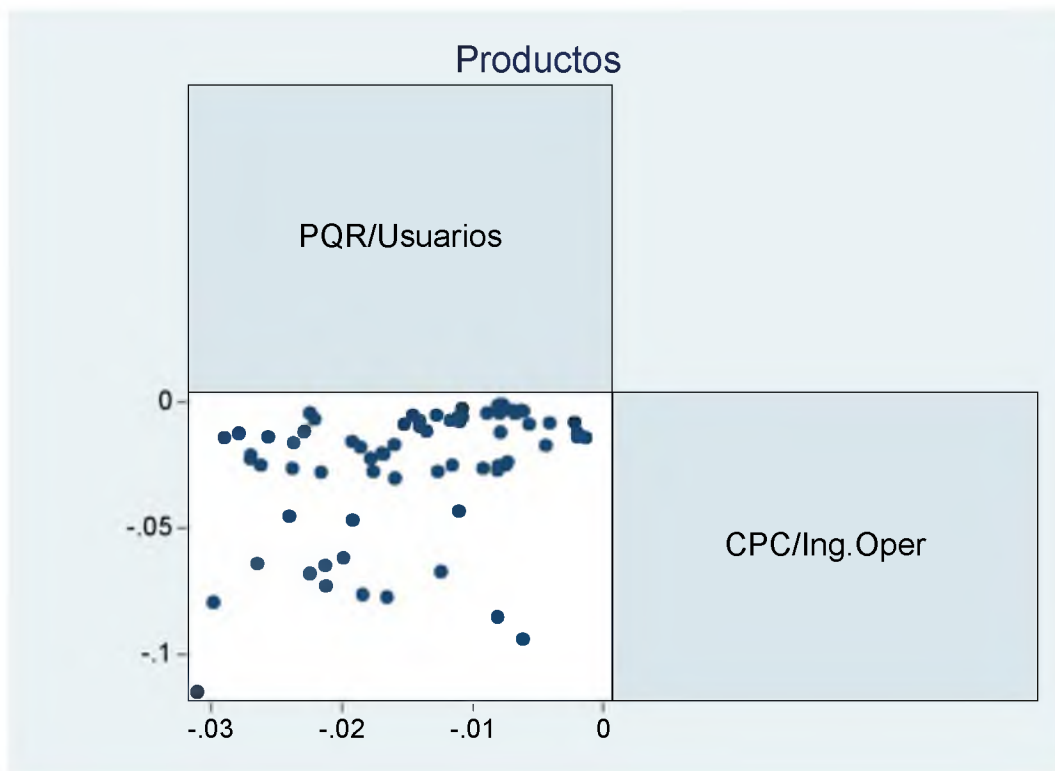
**Transformadores por usuarios (ambiental / no discrecional).** Esta variable es construida como el cociente entre el número de transformadores y el número de usuarios. Este cociente debe capturar características del sistema de distribución de la zona en que actúan los agentes de comercialización de energía eléctrica. En particular características de dispersión de usuarios y de terreno. Su caracterización como variable ambiental / no discrecional reconoce la imposibilidad de que la empresa de comercialización use esta variable estratégicamente en su actividad. La variable número de transformadores proviene de la CREG. La variable número de usuarios proviene de la información depurada ofrecida por la CREG para este reporte.



**Ventas (kWh) por usuarios (ambiental / no discrecional).** Este cociente busca capturar el número de kWh entregado por usuario . Esta variable refleja factores como clima, costumbres, distribución por tipo de usuarios, que no dependen de la actividad de la empresa pero si afecta el valor de las ventas. Su caracterización como variable ambiental / no discrecional reconoce la imposibilidad de que la empresa de comercialización use esta variable estratégicamente en su actividad. Las variables Ventas kWh y número de usuarios provienen de la información depurada y entregada por la CREG para este reporte.

En la Figura 4.3 de dispersión de datos entre variables producto no se observa una tendencia entre las variables que sugiera una correlación que pueda inducir a redundancia entre las variables usadas como producto. Adicionalmente es fácil observar cómo las variables están distribuidas uniformemente y no agrupadas en valores particulares. Finalmente, en la Figura 4.4 tampoco se observan observaciones atípicas que puedan generar desviaciones específicas en la estimación de eficiencia y productividad. La gráfica de barras para cada variable discriminando entre años sugiere al mismo tiempo una transición suave de las variables para el período de análisis.

Figura 4.3 Dispersión variables producto



**Figura 4.4** Dispersión variables producto ambientales / discrecionales

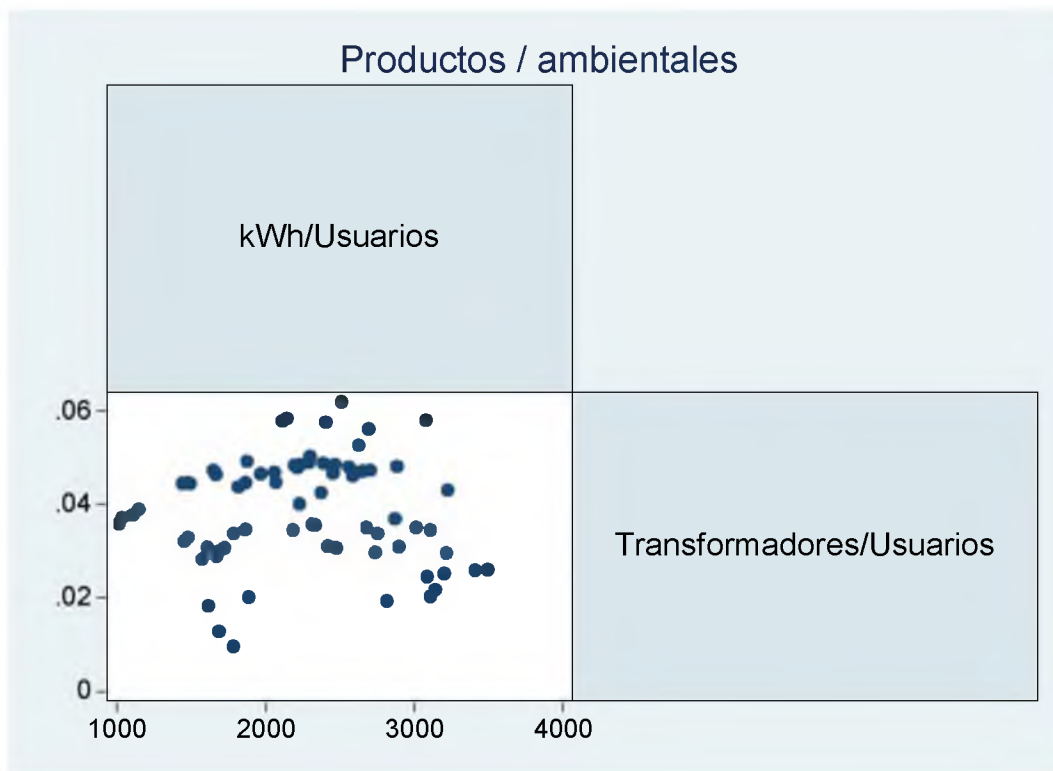
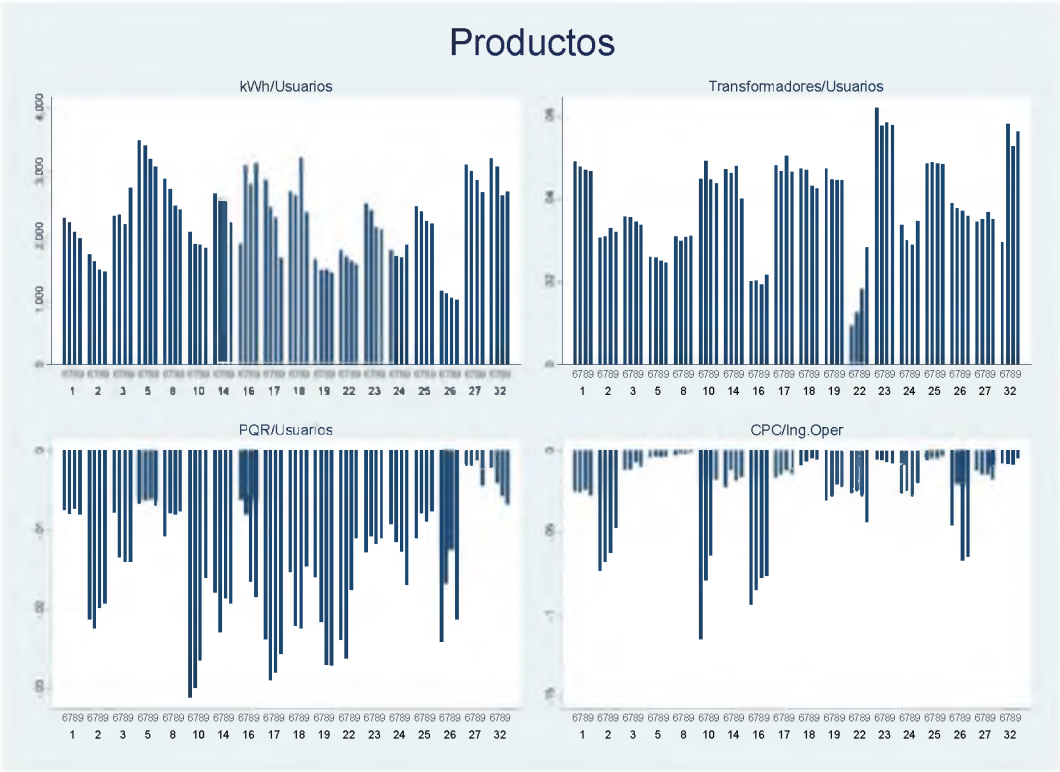


Figura 4.5 Barras para variables producto



**Tabla 4.3 Variables insumo / producto**

<b>Insumos</b>
Costo de comercialización / Usuarios
Empleo / Usuarios
Valor activos / Usuarios
<b>Productos</b>
(-1) * pqr / Usuarios
(-1) * cpc 90 – 365 días / ingresos operacionales
<b>Variables producto ambientales o no discrecionales</b>
Ventas por usuarios = Ventas kwh / Usuarios
Transformadores por usuario = Número de transformadores / usuarios

---

#### 4.1.3 Fuente de datos

La fuente de información de las variables usadas en la estimación DEA se detalla en la Tabla 4.4:

**Tabla 4.4 Fuente datos**

<b>Variable</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fuente</b>
<i>Insumos</i>		
Costo de comercialización	Pesos (\$)	CREG
Valor activos	Pesos (\$)	CREG
Empleo	Número	CREG
Usuarios	Número	CREG
<i>Productos</i>		
Ventas kWh	kWh	CREG
Número de transformadores	Número	CREG
PQR	Número	SUI
CPC 30 a 360 días.	%	CREG

---

## **5. Resultados**

### **5.1 DEA**

En el proceso de obtención del índice de productividad de Malmquist, como fue presentado al inicio de este informe, se hace necesario la estimación de 4 medidas de eficiencia. Las medidas de eficiencia son estimadas mediante la metodología DEA, y corresponden a cada uno de los elementos (cocientes) de la fórmula:

$$MPI = \left[ \frac{\left( \frac{OV}{OG_{t+1}} \right)}{\left( \frac{OU}{OG_t} \right)} \times \frac{\left( \frac{OV_1}{OG_{t+1}} \right)}{\left( \frac{OU_1}{OG_t} \right)} \right]^{0.5}$$

Los componentes de esta fórmula fueron explicados en una sección anterior de este texto. El resultado de estas estimaciones se presenta en la Tabla 5.1 Estimación DEA.

**Tabla 5.1 Estimación DEA**

DMU	DEA 0-1 2006-2007	DEA 1-0 2006-2007	DEA 0-0 2006	DEA 0-0 2007	DEA 0-1 2007-2008	DEA 1-0 2007-2008	DEA 0-0 2007	DEA 0-0 2008	DEA 0-1 2008-2009	DEA 1-0 2008-2009	DEA 0-0 2008	DEA 0-0 2009
{X} 1	38.16%	72.61%	100.00%	35.44%	39.35%	37.16%	35.44%	41.29%	43.63%	38.16%	41.29%	41.04%
{X} 2	66.80%	94.40%	60.80%	100.00%	96.86%	73.56%	100.00%	65.88%	74.44%	74.89%	65.88%	80.24%
{X} 3	80.95%	76.75%	75.31%	85.87%	85.76%	84.31%	85.87%	88.69%	86.50%	83.76%	88.69%	87.95%
{X} 5	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
{X} 8	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	87.34%	100.00%	100.00%	100.00%
{X} 10	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
{X} 14	74.27%	94.04%	100.00%	70.06%	77.76%	81.06%	70.06%	84.76%	93.31%	95.80%	84.76%	88.80%
{X} 16	100.00%	100.00%	99.28%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
{X} 17	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
{X} 18	42.16%	62.39%	56.97%	49.90%	63.37%	100.00%	49.90%	100.00%	100.00%	72.83%	100.00%	68.73%
{X} 19	73.32%	92.12%	100.00%	70.47%	68.20%	79.18%	70.47%	83.42%	77.27%	100.00%	83.42%	100.00%
{X} 22	39.25%	100.00%	36.25%	100.00%	100.00%	40.83%	100.00%	40.84%	46.97%	72.74%	40.84%	77.56%
{X} 23	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
{X} 24	40.18%	50.85%	40.65%	55.32%	57.64%	50.06%	55.32%	50.50%	56.04%	44.00%	50.50%	47.86%
{X} 25	77.93%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	97.92%	100.00%	100.00%	84.68%	100.00%	100.00%	100.00%
{X} 26	70.32%	100.00%	100.00%	76.44%	94.11%	66.63%	76.44%	82.82%	86.97%	68.25%	82.82%	76.75%
{X} 27	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	97.71%	100.00%	100.00%
{X} 32	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	99.58%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Los resultados presentados en la Tabla 5.1 Estimación DEA indican la eficiencia de las empresas de comercialización respecto a diferentes fronteras. La columna DEA 0-1 2006-2007 presenta la información de eficiencia de las empresas en 2006 usando como frontera la formada por los insumos de 2007. La columna DEA 1-0 2006-2007 presenta la información de eficiencia de las empresas en 2007 usando como frontera la formada por los insumos de 2006. Y la columna DEA 0-0 2006-2007 presenta la información de eficiencia de las empresas en 2006 usando como frontera la formada por los insumos de 2006. En particular puede ser de utilidad las medidas que comparan la eficiencia correspondiente a cada año DEA 0-0 2006, 2007, 2008 y 2009.

La interpretación de estos puntajes de eficiencia es directa y refleja la eficiencia de las empresas de comercialización. Las empresas que tienen un puntaje de 100% son aquellas que están ubicadas en la frontera. Las empresas que tienen un puntaje inferior a 100% son consideradas ineficientes. El puntaje de eficiencia indica la distancia respecto a la frontera. Un puntaje de 85% indica que le resta 15% para lograr ser eficiente respecto a la frontera o unidad eficiente.

Para el objetivo de este estudio el análisis de eficiencia es parcial, ya que el resultado requerido por la CREG es un valor de productividad del sector aplicable a la fórmula regulatoria.

Los resultados de estimación de productividad de Malmquist, efecto desplazamiento respecto a la frontera y desplazamiento de la frontera presentados a continuación se resumen de la siguiente manera. Promedio simple, valor máximo y mínimo por año para los valores de productividad obtenidos a nivel de empresas de comercialización. El promedio ponderado por kWh ajusta los valores de la productividad al tamaño relativo de las empresas de comercialización. El promedio geométrico se lleva a cabo para cada empresa a lo largo del tiempo. El cálculo de media geométrica tiene como ventaja reducir el efecto extremo de una observación, en contraposición de el promedio simple.

## **5.2 Índice de Productividad de Malmquist**

Los resultados de la estimación del índice de Malmquist corresponden a la ecuación presentada al inicio del capítulo, en donde es necesario hacer cuatro estimaciones DEA para obtener el índice. Los resultados del índice se presentan a continuación son los obtenidos al haber usado las empresas listadas en la Tabla 4.2 con las variables, unidades y resultados DEA descritos en la sección anterior.

**Tabla 5.2 Resultados estimación productividad**



Resumen Industria	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009	Promedio geométrico
Promedio simple	1.1416	1.0000	1.0325	1.0283
Mínimo	0.8212	0.4083	0.7075	0.9200
Máximo	2.6511	1.7783	1.7150	1.2291
Promedio ponderado por Ventas kWh	1.0090	1.0241	1.0024	1.0118

La información de la estimación se resume para la industria en la Tabla 5.2 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en el Apéndice). Tanto en la tabla como en la gráfica se observa un incremento en la variabilidad de los resultados respecto a otras estimaciones ofrecidas en el apéndice de este reporte. Los promedios simple y ponderado (por ventas en kWh) son medidas indicativas del comportamiento en la productividad en toda la industria. El promedio geométrico del MPI entre 2006-2009 es de 1.028, que implica un incremento en el índice de 2.8% y el promedio ponderado por kilovatios hora en ventas es de 1.011 que implica un incremento en el índice de 1.1%.

### 5.2.1 Descomposición efecto respecto a la frontera

Los resultados del efecto respecto a la frontera se presentan en la Tabla 5.3. Los resultados presentan mayor variabilidad respecto a estimaciones previas reportadas en el apéndice de este informe.

El promedio geométrico para todo el período de análisis (2006-2009) es 1.01, que implica un incremento de 1%. Y el mismo promedio según el promedio ponderado por kWh es igual a 1.0065, que implica un incremento de 0.65% para la industria en el efecto desplazamiento respecto a la frontera para todo el período de análisis.

Tabla 5.3 Efecto respecto a la frontera

Resumen Industria	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009	Promedio geométrico
Promedio simple	1.07287	1.03661	1.05060	1.01007
Mínimo	0.35440	0.40840	0.68730	0.74314

Máximo	2.75862	2.00401	1.89912	1.28858
Promedio ponderado por Ventas kWh	0.97719	1.03832	1.00498	1.00652

### 5.2.2 Descomposición efecto desplazamiento de la frontera

Los resultados del efecto respecto a la frontera se presentan en la Tabla 5.4. Los resultados presentan mayor variabilidad respecto a estimaciones previas realizadas para este estudio.

El promedio para todo el período de análisis (2006-2009) usando el promedio ponderado es igual a 1.022, que implica un incremento de 2.2%. Y el promedio ponderado por kWh es igual a 1.0182, que implica un incremento de 1.8% para la industria en el efecto desplazamiento de la frontera para todo el período de análisis.

**Tabla 5.4 Efecto desplazamiento de la frontera**

Resumen Industria	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009	Promedio geométrico
Promedio simple	1.14188	0.97370	0.98659	1.0229
Mínimo	0.91188	0.80837	0.90303	0.9495
Máximo	2.31711	1.07367	1.08670	1.2508
Promedio ponderado por Ventas kWh	1.06811	0.99035	0.99793	1.0182

## 6. Estimación de función de producción con metodología econométrica y extracción de productividad a través de la metodología Oley - Pakes / Levinsohn - Petrin.

### 6.1 Metodología Oley - Pakes

Esta sección presenta la metodología desarrollada por Olley y Pakes (1996) para la estimación de productividad bajo circunstancias en las cuales una estimación estándar de productividad puede llegar a ser cuestionada fácilmente.

Se parte de una función de producción Cobb-Douglas en logaritmo:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + \beta_l l_{it} + w_{it} + \bar{\epsilon}_{it} \quad (1)$$

En donde  $y_{it}$  es el nivel del producto,  $k_{it}$  es la variable capital,  $l_{it}$  es la variable trabajo,  $w_{it}$  es la productividad y  $\bar{\epsilon}_{it}$  es una medida de error en la recolección de los datos. Todo esto para la unidad de funcionamiento, empresa o planta  $i$  en el momento del tiempo  $t$ ; el componente de productividad no es observado por el econometrista, pero si es conocido por el productor. La variable  $w$  es tratada como una variable estado, un determinante de la salida y demanda de los insumos, esta conexión es la fuente de endogeneidad y el potencial sesgo en la estimación del insumo trabajo en una estimación ordinaria de la función de producción. Tal sesgo de selección surge cuando las firmas con un capital  $k$  alto sobreviven con bajos niveles de la variable productividad ( $w$ ) mientras que firmas con un  $k$  bajo no sobreviven. De esta manera una función de producción estimada solamente con las firmas que sobreviven genera un coeficiente de capital inferior al correcto.

Para identificar correctamente la función de producción, el siguiente componente del modelo es una función de demanda de inversión

$$i_t = i_t(w_t, k_t) \quad (2)$$

que puede ser invertida, asumiendo una relación monotonica entre la inversión y la productividad en todos los niveles posibles de capital

$$w_t = h_t(i_t, k_t) \quad (3)$$

de manera que la función potencialmente observable  $h_t$  se convierte en una variable proxy para  $w$  en la ecuación (1). Reemplazando y reuniendo términos se tiene

$$y_{it} = \beta_l l_{it} + \phi_t(i_t, k_t) + \bar{\epsilon}_{it} \quad (4)$$

en donde:

$$\phi_t(i_t, k_t) = \beta_0 + \beta_k k_{it} + h_t(i_t, k_t) \quad (5)$$

Hasta este punto se define el primer paso del algoritmo de estimación propuesto por Olley and Pakes (1996), a partir de la ecuación (4)  $\beta_l$  puede ser estimado mediante mínimos cuadrados ordinarios, y la naturaleza no lineal de  $h_t(i_t, k_t)$  puede ser aproximada mediante métodos no paramétricos. La naturaleza no paramétrica de  $b_t$  es aproximada mediante un polinomio de orden cuatro en  $i$  y  $k$  y sus interacciones.

Con la estimación de  $\beta_l = h_l$  y  $\phi_t = \hat{\phi}_t$ , y el supuesto de que (a) un choque de productividad sigue un comportamiento de una cadena de Markov

$$w_{it} = E[w_{it}|w_{it} - 1] + \xi_t \quad (6)$$

dado que la firma continúe sus operaciones en el siguiente período, y (b) que el nivel de capital es determinado en el período siguiente por una regla de acumulación como:

$$k_{t+1} = (1 - \delta)k_t + i_t \quad (7)$$

en donde  $\delta$  es la tasa de depreciación económica después de reemplazar en la ecuación es posible estimar  $\beta_k$

$$y_{it}^* - \beta_i i_{it} = \beta_0 + \beta_k k_{it} + E[w_{it}|w_{it} - 1] + \xi_t + \epsilon_{it}$$

$$y_{it}^* = \beta_0 + \beta_k k_{it} + E[w_{it}|w_{it} - 1] + \epsilon_{it}$$

un período adelante

$$y_{it+1}^* = \beta_0 + \beta_k k_{it+1} + E[w_{it+1}|w_{it}] + \epsilon_{it+1} \quad (8)$$

Como en ecuación (4),  $E[w_{it+1}|w_{it}]$  es no-lineal y desconocido y no puede ser estimada con una regresión. Recuérdese que la ecuación (3) que la productividad es una función de la inversión y el capital, entonces la ecuación (8) puede ser estimada mediante métodos no paramétricos. Olley and Pakes (1996) sugiere como un estimador consistente un polinomio de cuarto orden para el término de productividad, que de las ecuaciones (3) y (5) son función del capital y de la inversión<sup>1</sup>

$$w_t = \hat{h}_t(i_t, k_t) = \hat{\phi}_t(i_t, k_t) - \beta_k k_{it} \quad (9)$$

y la ecuación para estimar  $\beta_i$  es

$$y_{it+1}^* = \beta_0 + \beta_k k_{it+1} + \hat{h}_t(i_t, k_t) + \eta_{it+1}^* \quad (10)$$

Después de haber obtenido el estimador insesgado de la función de producción, la productividad a nivel de firma es

$$p_{it} = \exp(y_{it} - b_i i_{it} - b_k k_{it}) \quad (11)$$

Olley and Pakes (1996) proponen una medida de agregación de la productividad a nivel industrial usando la participación de la planta en el producto de la industria  $s_{it}$  como ponderación

$$P_t = \sum_{i=1}^{N_t} s_{it} p_{it} \quad (12)$$

---

<sup>1</sup>  $\beta_0$  está incluido en  $\hat{\phi}_t$  en la ecuación (5).

En Levinsohn and Petrin (2003) se sugiere un algoritmo alternativo de trabajo sobre la estimación de Olley and Pakes (1996) extendiendo su aplicación a fuentes de datos con problemas de continuidad y credibilidad.

Usualmente existen dos problemas con datos de inversión a nivel de firma. Primero, cuando se lleva a cabo análisis en países en desarrollo, la calidad de los datos puede ser muy débil e inconsistente. Segundo, sin importar el objeto de análisis, incluso con buena información primaria, la información de la inversión es discreta en el sentido de que hay inversión por uno o dos años y cero para otros años.<sup>2</sup> Esto hace que la metodología de Olley and Pakes (1996) sea más apropiada para analizar datos de alta calidad por la necesidad de continuidad en los datos de la función de inversión. Si una firma no lleva a cabo alguna inversión se excluiría del análisis, ampliando el problema de sesgo.

Siguiendo de cerca la formulación de Olley and Pakes (1996), Levinsohn and Petrin (2003) comienza con una función de producción extendida que incluye los insumos y su función de demanda

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_K k_{it} + \beta_L l_{it} + \beta_E e_{it} + w_{it} + i_{it} \quad (13)$$

$$t_t = t_t(w_t, k_t) \quad (14)$$

La ecuación (14) debe ser monótonica en el término  $w$  para todos los niveles de capital. Después de hacer esta variación, las ecuaciones subsiguientes son similares a Olley and Pakes (1996) para obtener el parámetro de la variable trabajo:

$$y_{it} = \beta_L l_{it} + q_t(t_t, k_t) + i_{it} \quad (15)$$

en donde

$$q_t(t_t, k_t) = \beta_0 + \beta_K k_{it} + \beta_E e_{it} + h_t(l_t, k_t) \quad (16)$$

y los parámetros para el capital y los insumos se estiman de:

$$y_{it+1}^* = \beta_0 + \beta_K k_{it+1} + \beta_E e_{it+1} + E[w_{it+1} + 1 | w_{it}] + i_{it+1} \quad (17)$$

siguiendo la misma lógica en la ecuación (8).

---

<sup>2</sup> Sin mencionar problemas de contabilidad y el uso de tasas de depreciación o variabilidad de índices usados para contabilizar correctamente la edad del capital.

Esta metodología aborda dos temas importantes de la estimación de funciones de producción con datos a nivel de firma: (a) el problema de simultaneidad entre insumos y los choques de productividad que sesgan el resultado de una estimación básica y que no es corregido completamente con una estimación usando una variable instrumental o una reconfiguración de los datos (como en estimador de efectos fijos en econometría de panel de datos), (b) el sesgo de selección ante la presencia de entrada y salida de firmas. Finalmente una bondad de la metodología es que genera un nivel de productividad a nivel de firma, lo que permite dividir la participación de productividad proveniente de la entrada o salida de firmas.

## 6.2 Estimación con incremento en la información

La CREG solicitó información adicional a las empresas de comercialización de energía en relación a las variables necesarias para estimación de productividad el mediante método econométrico propuesto. En esta solicitud se requería información sobre empleo, salarios, valor de activos fijos, insumos y materiales. Con esta información se llevó a cabo la estimación bajo la metodología propuesta.

Para facilitar la interpretación de las estimaciones las variables han sido re-expresadas en logaritmo natural. La variable dependiente usada en esta estimación es EBIT.

**EBIT.** Esta variable se construye a partir del valor de facturación y costos de comercialización, así:

$$EBIT = \text{Facturación} - \text{Costos comercialización}$$

Las variables ingresos por facturación y costo de comercialización provienen del la información depurada ofrecida por la CREG para este reporte

**Tabla 6.1 Función de producción metodología Oley-Pakes**

	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009
K (activos)	0.499	0.547	0.655
(se)	0.369	0.476	0.469
L (Empleo total)	0.512	0.448	0.509
(se)	0.392	0.393	0.5
Observaciones	36	36	36
SE: error estandard			

Los resultados obtenidos mediante la metodología Oley-Pakes en general no son muy diferentes a los obtenidos mediante una estimación por mínimos cuadrados ordinarios. Aunque los coeficientes de los insumos son apropiados, debe señalarse que su significancia estadística es baja. En la estimación mediante mínimos cuadrados ordinarios, los coeficientes son similares pero los niveles de significancia son mucho más altos. Esto es un indicativo de la diferencia y ventajas de la aproximación econométrica alterna, que permite identificar con propiedad los coeficientes y su significancia.

**Tabla 6.2 Función de producción metodología MCO**

	2006	2007	2008	2009
K (activos)	0.623	0.6281	0.6543	0.6896
(se)	0.153	0.139	0.152	0.145
L (Empleo total)	0.4332	0.4968	0.444	0.494
(se)	0.186	0.171	0.177	0.172
Constante	9.533	9.16	8.8436	7.875
(se)	2.92	2.7	2.932	2.82.
Observaciones	18	18	18	18
SE: error estandard				

La medida de productividad después de la estimación econométrica presentada consiste en obtener la parte no explicada de la función de producción y comparar su comportamiento en el tiempo. Bajo condiciones básicas de una función de producción la parte no explicada representa el nivel de productividad y su tasa de crecimiento en el tiempo el crecimiento de la productividad.

Los resultados de este cálculo se presentan en la tabla Tabla 6.3.

**Tabla 6.3 Función de producción metodología Oley-Pakes**

Crecimiento Productividad	Oley - Pakes	Crecimiento Productividad	OLS
		2006-2007	-4
2007-2008	-0.52	2007-2008	-2.38
2008-2009	-0.93	2008-2009	0.46
2007-2009	-0.72	2006-2009	2.6e-9

A partir de estos resultados se observan diferencias en el cálculo de la productividad según las dos metodologías. Esta estimación no está exenta de dudas en especial en relación con el cálculo usando relativamente pocas observaciones. En varios casos la estimación sugiere que los coeficientes son no significativos a niveles altos de significancia. Este no es un problema persistente pero es muestra de la posibilidad de resultados que pueden cambiar fácilmente con pequeñas modificaciones de la muestra.

## **7. La productividad en la economía colombiana.**

Varios estudios sobre la productividad se han realizado en el país. El uso de diferentes técnicas de estimación, datos disponibles y variables explicativas o factores de interés usados han generado una variedad de resultados. Por ejemplo, Eslava y otros (2004) estimó una productividad multifactorial para la industria manufacturera de 0.1% para el período previo a la reformas de 1990 y de 0.4% posterior a la misma. El período de estudio estuvo entre 1982 y 1998. Clavijo 2003 por su parte presenta que la productividad laboral de la economía colombiana creció 0.4% entre 1990 y 2002 y la PTF decreció 0.6% para el mismo período. Villamil (2003) encontró que la PTF de la industria manufacturera creció 0.4% entre 1999 y el año 2000. Un estudio más reciente de Echavarría y otros (2006) presentan varios estimativos tanto de la PTF como de la productividad laboral de la industria manufacturera. Del año 1991 al 2002, los autores encontraron que usando uno de los métodos la PTF sin corregir por capacidad crece al 1.2% (y 0.7% con corrección de capacidad). En promedio, se observa que la PTF ha podido crecer, para los años de 1991 al 2002, entre 0.1% y 0.6% pero debe tenerse presente que los resultados difieren por lo señalado al principio.

### **7.1 Interpretación, alcance, limitación y recomendaciones a partir de los resultados**

Un resumen global de los resultados se presenta en la Tabla 7.1. De esta tabla se define un incremento en la productividad de la industria utilizando el Índice de Productividad de Malmquist entre 1.1 y 2.8% en el período 2006-09.

Al descomponer éste entre el asociado al desplazamiento de la frontera y el asociado respecto a la frontera, se pueden observar efectos combinados. El efecto respecto a la frontera, es decir el incremento en productividad de las unidades de producción respecto a la frontera eficiente sugiere un incremento en el período total entre 0.6 y 1%. El primer valor corresponde al ponderado por kWh y el segundo al promedio simple.

El resultado de productividad asociado al desplazamiento de la frontera, es decir al cambio en productividad por cambios en la frontera eficiente está entre 1.8 y 2.2%. El primer valor corresponde al promedio simple y el segundo al ponderado por kWh y el segundo al promedio simple. El resultado de la productividad obtenido por la estimación econométrica según la metodología de Oley – Pakes y MCO se encuentra entre 0 y 0.46.

Los valores del crecimiento de la productividad son diversos. Este tipo de resultado no es desconocido y como se discute en la presentación de otras estimaciones de crecimiento



de productividad en Colombia es posible encontrar gran variabilidad en este tipo de ejercicios.

En concordancia con la teoría económica y los objetivos de la consultoría, a partir de estos resultados, la Universidad del Rosario recomienda la adopción de cambio en productividad sugerido por el Índice de Productividad de Malmquist (MPI) de 1.1% para el promedio simple entre 2006 y 2009. Y no superior al resultado del promedio ponderado por ventas de kWh del efecto desplazamiento de la frontera de 1.8%. Para efectos de la regulación del sector de comercialización de energía eléctrica un incremento cercano a 1% por año debe ser apropiado y acorde a la actividad económica del país.

Esta recomendación es resultado de analizar los resultados de estimación presentados, en concordancia con las estimaciones a nivel macroeconómico y con la baja dinámica de crecimiento de la economía colombiana en este período.

**Tabla 7.1 Resumen de resultados productividad en términos porcentuales**

	<b>Resumen Industria</b>	<b>2006-07</b>	<b>2007-08</b>	<b>2008-2009</b>	<b>Promedio geométrico 2006-09</b>
		<b>%</b>	<b>%</b>		<b>%</b>
MPI	Promedio simple	14	0	3.2	2.8
	Promedio ponderado por Ventas kWh	0.9	2.4	2.4	1.1
Efecto respecto a la frontera	Promedio simple	7.2	3.6	5.0	1
	Promedio ponderado por Ventas kWh	-2.3	3.8	0.4	0.6
Efecto desplazamiento de la frontera	Promedio simple	14	-2.7	-1.4	2.2
	Promedio ponderado por Ventas kWh	6.8	-0.1	-0.03	1.8
	<b>Promedio industria</b>	<b>2007-2008</b>	<b>2008-2009</b>	<b>2007-2009</b>	
Estimación econométrica Olley – Pakes		-0.52	-0.93	-0.72	
Estimación econométrica MCO		-2.38	0.46	0	

Los resultados presentados anteriormente tienen fortalezas y debilidades. Una clara fortaleza de la metodología y de los resultados es la posibilidad de utilizar diferentes medidas de insumo y producto y calificar el desempeño y productividad de la industria a partir de diferentes características relevantes a los propósitos del estudio y a la actividad del sector. Una segunda fortaleza es poder discriminar los resultados entre efectos en

relación a la frontera eficiente y efectos de la frontera misma. Esta división de los resultados permite identificar la fuente de los cambios agregados en productividad.

La principal limitación de los resultados se encuentra en la limitada información para llegar a un indicador agregado de productividad. Inicialmente se cuenta con 4 años de información consecutivos lo cual permite generar tres años de cambio en productividad. Adicionalmente las variables disponibles para evaluar el desempeño y productividad están limitadas por la información ofrecida por las empresas mismas y algunas de ellas, como se muestra en las gráficas, presentan variaciones grandes sin una justificación clara. Finalmente hace falta información sobre algunas variables muy deseables de ser incluidas en el análisis, como: medida de capital y de mano de obra.

## **8. Bibliografía**

Clavijo, Sergio (2003) "Crecimiento, productividad y la nueva economía. Implicaciones para Colombia", Documento Banco de la República.

Echavarria, Juan, Maria Arbeláez, María Rosales (2006) "La productividad y sus determinantes: el caso de la industria colombiana", Desarrollo y sociedad, V. 57. pp. 77-122.

Eslava, Marcela, John Haltiwanger, Adriana Kugler, Maurice Kugler (2004) "The effects of structural reforms on productivity and profitability enhancing reallocation: evidence from Colombia", Journal of Development Economics, V. 75. pp. 333 - 371

Villamil, Jesús (2003) "Productividad y cambio tecnológico en la industria colombiana", Economía y Desarrollo, V. 2. N. 1. pp. 151-167.