

---

# ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS EN COLOMBIA\*

---

*David Rodríguez Guevara<sup>1</sup>*

*Fred Restrepo Giraldo<sup>2</sup>*

*Alfredo Trespalacios<sup>3</sup>*

\* DOI: <https://doi.org/10.18601/01245996.v25n49.11> Recepción: 17-01-2022, modificación final: 25-05-2023, aceptación: 31-05-2023. Sugerencia de citación: Guevara, D., Restrepo, F. y Trespalacios, A. (2023). Estimación de la eficiencia de las empresas en servicios públicos domiciliarios en Colombia. *Revista de Economía Institucional*, 25(49), 237-255.

<sup>1</sup> Magister en Administración financiera. Docente e investigador, Departamento de Finanzas, Facultad de Ciencias económicas y administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia, Colombia, [davidrodriguez@itm.edu.co], [<https://orcid.org/0000-0001-5430-0787>].

<sup>2</sup> Magister en Administración financiera. Docente e investigador, Departamento de Finanzas, Facultad de Ciencias económicas y administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia, [fredrestrepo@itm.edu.co].

<sup>3</sup> Ph(d) en Ciencias Económicas. Docente, Departamento de Finanzas, Facultad de Ciencias económicas y administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia, [alfredotrespalacios@itm.edu.co].

### **Estimación de la eficiencia de las empresas de servicios públicos domiciliarios en Colombia**

*Resumen* La administración de las empresas de servicios públicos debe velar por el cumplimiento de su demanda, logrando que los recursos financieros cubran los costos y permitan lograr dividendos para sus propietarios. Este trabajo propone una metodología para medir la eficiencia de las empresas de servicios públicos en Colombia, a través de una frontera estocástica, considerando información desde 2014 hasta 2018 de 44 empresas que presentan un ranking de eficiencia de 39% en los recursos de estas empresas.

Palabras claves: frontera estocástica, servicios públicos domiciliarios, eficiencia; JEL: C33, C52, C54, L32

---

### **Estimation of the efficiency of utility companies in Colombia**

*Abstract* The administration of the domiciliary public utility companies must ensure compliance with their demand, ensuring the available financial resources cover the costs and achieve dividends for owners. This paper proposes a methodology for measure the efficiency of domestic utility companies in Colombia through a stochastic frontier, considering information from 2014 to 2018 from 44 companies, showing an efficiency ranking of firms, the result shows company's resource efficiency rate is 39%.

Keywords: stochastic frontier, household utilities, efficiency; JEL: C33, C52, C54, L32

---

### **Estimativa da eficiência dos serviços públicos na Colômbia**

*Resumo* A administração das empresas de serviço público deve zelar pelo atendimento da sua demanda, garantindo que os recursos financeiros cubram os custos e que consigam dividendos para os seus proprietários. Este trabalho propõe uma metodologia para medir a eficiência das empresas de serviço público na Colômbia por meio de uma fronteira estocástica, considerando informações de 2014 a 2018 de 44 empresas que apresentam um ranking de eficiência, em que a eficiência de recursos dessas empresas é de 39%.

Palavras-chave: fronteira estocástica, serviços de utilidade pública, eficiência; JEL: C33, C52, C54, L32

## INTRODUCCIÓN

Los servicios públicos domiciliarios pueden definirse como la satisfacción de las necesidades básicas de primer orden (agua, alcantarillado, energía y aseo) que pueden tener los grupos humanos y que permiten el desarrollo pleno de sus capacidades como comunidad y como individuo y que son necesarios para que las personas puedan existir en un ambiente salubre, protegido e íntimo como indica la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y el DNP, (2002). La adecuada prestación de los servicios (Bastidas 2014), es indispensable para legitimar el estado social de derecho.

En las diferentes concepciones de la administración del Estado desde la Constitución de 1886 hasta la moderna Constitución de 1991, el Estado ha reconocido la importancia del sector privado en la prestación de los servicios públicos domiciliarios, permitiendo que sean en un inicio éstos los que puedan suplir las necesidades en diferentes sectores, como fue el caso de los acueductos y energía donde se ofreció a los particulares el aprovechamiento de las aguas circundantes a los emplazamientos, para disfrute de los pobladores.

Respecto a la prestación de servicios públicos en Colombia se enmarcan tres diferentes etapas desde el inicio de la república (Valencia, 2004). La primera etapa se encuentra entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX, donde fueron empresarios privados quienes desarrollaron los primeros acueductos, por la inexistente presencia del Estado en los asentamientos y poblaciones nacies. La segunda etapa se registra hasta mediados del siglo pasado, cuando el Estado empieza a hacerse cargo de la ampliación de los diferentes elementos constitutivos de los servicios públicos y la prestación de estos a través de los municipios. La limitación de recursos y la deficiente administración llevó a que en diferentes lugares dichas empresas no lograran generar los recursos mínimos para el auto sostenimiento de estas como propone (Amar y Echevarría, 2008).

La tercera etapa se encuentra posterior a la segunda mitad del siglo pasado donde el Estado se convierte en ente prestador y regulador de los servicios públicos, ampliando la cobertura y la inversión buscando atender de manera eficaz las necesidades de la población. Valencia (2004) indica que en materia de servicios públicos esto no es exclusivo de Colombia: desde principios de los años 80 se presentaron diferentes procesos de privatización y apertura a la competencia con la empresa privada en Europa, Norteamérica y Latinoamérica. Las razones de esta transformación obedecen a diferentes argumentos de

la teoría económica ortodoxa, donde la competencia del mercado es reconocida como un elemento clave para el aumento de la eficiencia en la prestación del servicio.

Una vez cumplidos sus objetivos de atención de la demanda específica en sus operaciones, los encargados de la operación de las empresas de servicios públicos dejarán fondos suficientes para la destinación de los administradores y propietarios; de esta forma, surge la idea de hacer una verificación de los niveles de eficiencia financiera basada en los criterios de Gómez y Ceballos (2016) y Melo-Becerra et al. (2017) entendiendo que las empresas prestan servicios diferenciados pero con recursos financieros públicos, los cuales permiten homogeneizar el estudio de cada empresa y usando como metodología la medición de eficiencia implementada por Battese & Coelli (1995), Hassan et al. (2011) y Campano et al. (2016) que busca encontrar una frontera eficiente en el sentido de Pareto, que identifica cuál es la capacidad de obtener un máximo beneficio a partir de una cantidad determinada de insumos y tecnologías con el ánimo de identificar cuáles son los niveles de eficiencia actuales de las empresas de servicios públicos en Colombia con respecto a los niveles de producción óptimos.

En este trabajo, usando como referente los trabajos de Gómez y Ceballos (2016) y Ahmadzai (2017), en el que se analizan los rubros de las empresas de un sector específico para conocer su criterio de eficiencia financiera, teniendo en cuenta el criterio aportado por Bastidas (2014) que considera a las empresas públicas como empresas que regulan y proveen servicios básicos en conjunto.

Como caso de estudio utiliza la información de 44 empresas de servicios públicos desde el año 2014 al 2018, se utilizan modelos de panel de datos y se tienen en cuenta variables como el EBIT (Earnings Before Interest and Taxes), el patrimonio y la deuda neta. Los cálculos realizados permiten crear un ranking de eficiencia empresarial que mide el manejo de los recursos óptimos de dichas entidades, en el cual se encuentra un 39% de eficiencia técnica promedio de los recursos propios. El estudio muestra a Codensa como la empresa más eficiente en el tiempo analizado las menos eficientes Empresas municipales de Cali.

## **1. METODOLOGÍA**

### **1.1. FRONTERA ESTOCÁSTICA Y EFICIENCIA TÉCNICA (SFA)**

Las entidades de servicios públicos colombianos tienen como objetivo garantizar el bienestar social y económico centrándose en la prestación

de servicios esenciales usando recursos distribuidos para satisfacer las necesidades de la población (Ley 142 de 1994, 1994). Garantizar el uso de estos recursos también involucra determinar el nivel de optimización para generar valor agregado empresarial. La medición de estos procesos se puede deducir del análisis de eficiencia productiva, como se muestra en el trabajo de (Melo-Becerra et al., 2017). De forma técnica, la eficiencia productiva se describe en el trabajo de (Arango, 1993) y (Fraser, 2002) usando la función Cobb – Douglas que mide la producción nacional, donde la producción total ( $Q$ ) está definida por una función  $f(A, T, K)$ , siendo  $A$  el factor de productividad,  $T$  el trabajo (insumo) y  $K$  el capital (insumo);  $\alpha$  y  $\beta$  corresponden a elasticidad del trabajo y el capital respectivamente (1).

$$Q = AT^\alpha K^\beta e^\varepsilon, 0 < \alpha, \beta < 1 \quad (1)$$

Para Farrell (1957) y Gómez y Ceballos (2016) la eficiencia productiva comprende que con la mayor cantidad de recursos posibles y la mejor combinación de ellos se puede establecer el óptimo de producción, definiéndole como “la capacidad de producir cualquier bien o servicio a un costo mínimo de forma eficiente y productiva”. Buchelli-Lozano y Marín-Restrepo (2012) y Ramírez (2014), complementan que la eficiencia productiva se basa del uso de un modelo econométrico de la función Cobb – Douglas linealizada por logaritmo natural para poder calcular los parámetros de [1] quedando [2], siendo parámetros de elasticidad aplicados a los factores de producción, donde corresponde a la empresa analizada en un tiempo  $t$ .

$$\ln(Q_t^p) = \ln(A_t^p) + \alpha \ln(T_t^p) + \beta \ln(K_t^p) + \varepsilon_t^p \quad (2)$$

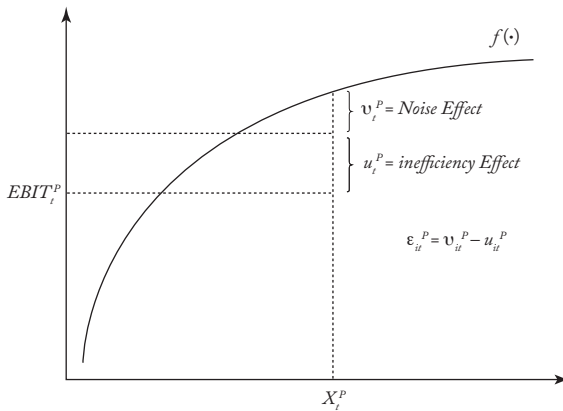
Para determinar el método de frontera estocástica que permite conocer la eficiencia productiva (Battese & Coelli, 1995) y (Schmidt, 1988) consideran las variables usadas en el modelo linealizado Cobb-Douglas y se debe conservar un factor determinístico de ineficiencia productiva ( $\varepsilon_t^p$ ) como se muestra en [3], donde,  $v_t^p$  es una serie ruido blanco  $iid \sim N(0, \sigma^2)$  y una función  $u_t^p$  es el vector determinístico de ineficiencia que puede presentar dos criterios: 1) el valor de la función  $u_t^p$  no está determinada por eventos o factores exógenos y se considera que los efectos de ineficiencia son netamente estocásticos. 2) el valor de la función  $u_t^p$  está determinada por variables exógenas.

$$\ln(Q_t^p) = \ln(A_t^p) + \alpha \ln(T_t^p) + \beta \ln(K_t^p) + \varepsilon_t^p; \varepsilon_t^p = v_t^p - u_t^p \quad (3)$$

Para ambos casos de ineficiencia, Battese y Coelli (1992), Campano et al. (2016) y Ahmadzai (2017) concuerdan que  $u_t^p$  es una variable

truncada positiva con distribución media-normal (*half-normal*) siendo un valor crítico y de eficiencia para empresa  $P$  en un tiempo  $t$ , denominada eficiencia técnica ( $TE_{it}^P$ )[4] que define la eficiencia técnica específica de las entidades de servicios públicos como la relación entre el valor observado ( $Y_t$ ) y la frontera eficiente ( $\hat{Y}_t$ ), que es el uso de recursos máximo factible caracterizado por elementos estocásticos especificados por ( $v_t$ ). Debido a que  $u_t \geq 0$ , la relación está limitada entre 0 y 1, por lo tanto, una empresa es totalmente eficiente si  $TE_{it} = 1$ . De lo contrario,  $TE_{it} \leq 1$  es un déficit de la eficiencia observada. (Gráfica 1).

Gráfica 1  
Frontera de producción para EBIT



Fuente: (Gómez & Ceballos, 2016)

$$TE_{it}^P = e^{-u_{it}^P} = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} = \frac{Y_t}{f(x_t; \beta) \exp(v_t)} \tag{4}$$

**1.2. PANEL DE DATOS PARA MODELOS DE EFICIENCIA (SFA)**

Greene (2008) indica que los datos de panel son una combinación entre las series de tiempo, con  $t = 1, 2, \dots, T$  periodos, e información por observaciones individuales  $i = 1, 2, \dots, N$  datos, siendo una serie  $N * T$ . Habitualmente las series de panel son  $N > T$ . Para su uso se recomienda usar modelos lineales, estimados por Ordinary Least Squares (OLS), en la cual  $y_{it}$  se refiere a la variable endógena,  $x_{it}$  a las variables exógenas,  $a_i$  se refiere al parámetro de efecto específico de corte individual (constante para todo  $t$ ), el parámetro  $\gamma_t$  es el efecto específico para el tiempo (constante para todo  $i$ ) y el término de residual  $\epsilon_{it}$ , donde  $E(\epsilon_{it} | x_{it}, a_i, \gamma_t) = 0$  como se muestra en (5).

$$y_{it} = x'_{it} \beta + a_i + \gamma_t + \epsilon_{it} \tag{5}$$

(Montero, 2011) y (Pérez et al., 2018) complementan que los modelos de paneles de datos pueden tener aplicaciones directas sobre las observaciones ( $i$ ), el tiempo ( $t$ ), para determinar qué alcance tienen estos modelos se requiere realizar pruebas que determinan el camino que lleven al modelo óptimo según la naturaleza de los datos, los cuales pueden ser:

### 1.2.1. Modelos *pooled OLS*

Los modelos Pooled-OLS, según Quintana y Mendoza (2016), imponen restricciones a los parámetros individuales, estableciendo constantes comunes ( $\alpha_1 = \dots = \alpha_i = \alpha$ ), indicando que todas las observaciones son idénticas en sí mismas en un periodo de tiempo único ( $\gamma = \dots = \gamma_i = \gamma$ ) (condición de endogeneidad) y, por tanto, un efecto similar ocurre en los parámetros de las variables exógenas ( $\beta_1 = \dots = \beta_i = \beta$ ) como se muestra en [6], similar a un modelo OLS. Las condiciones teóricas de permanencia de un estimado Pooled OLS serán: 1)  $E(x_{it}, \varepsilon_{it}) \neq 0$ , 2)  $E(x_{it}, \varepsilon_{it}) = 0$ , 3)  $\varepsilon_{it}$  no es esférico, por tanto, es mejor usar General Least Squares (GLS).

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i; \varepsilon_i \sim iid(0, \sigma^2) \quad (6)$$

### 1.2.2. Estimador de efectos aleatorios

Á. Montenegro (2008) explica que estos modelos funcionan con ambos criterios de información, individuos ( $i$ ) con información heterogénea significativa a medida que pasa el tiempo ( $t$ ). Para su funcionamiento,  $a_i$  es una variable aleatoria no observada y que carece de relación con las variables exógenas  $x_{it}$  siendo omitida en la regresión y agregándose en los residuales adicionándose a un intercepto  $c$  (7). Aun así, la estimación obtenida puede ser insesgada, consistente en los parámetros  $\beta$ , pero ineficiente en  $a_i$  que induce a la autocorrelación a  $u_{it}$ . Para revisar esta condición se sugiere utilizar estimadores robustos GLS, o verificar por medio de prueba de Hausmann (Durbin-Wu-Hausmann).

$$y_{it} = c + \beta x_{it} + u_{it}; u_{it} = a_i + \varepsilon_{it}; a_i, \varepsilon_{it} \sim iid(0, \sigma^2) \quad (7)$$

### 1.2.3. Estimador de efectos fijos

Según Á. Montenegro (2008), son modelos que establecen un criterio de análisis directo sobre la información por individuo ( $i$ ), que se denomina modelo de "Efectos fijos en ( $i$ )", y sobre el tiempo ( $t$ ) que se

denomina modelo de “Efectos Fijos en ( $t$ )”. Los modelos de efectos fijos en ( $i$ ) suponen valores de tiempo observados ( $\gamma_i = 0$ ); se tratará  $a_i$  como una variable aleatoria no observada relacionada con  $x_{it}$ , siendo  $a_i$  un intercepto diferente para cada individuo ( $i$ ) y mostrando a cada individuo como una variable Dummy ( $D$ ) que responde frente a los parámetros estimables de ( $\beta$ ). En efectos fijos en ( $t$ ) se supone que ( $\gamma_i = 0$ ), por tanto, el enfoque se centra en variables Dummy de tiempo ( $T$ ) que muestra el comportamiento heterogéneo del tiempo sobre el modelo y los parámetros estimables ( $\beta$ ). (8) y (9).

$$y_{it} = x'_{it} \beta + a_i D + \varepsilon_{it}; \alpha_i = \alpha + \mu_i \quad (8)$$

$$y_{it} = x'_{it} \beta + \gamma T + \varepsilon_{it} \alpha_t = \alpha + \mu_t \quad (9)$$

### 1.2.4. Identificación del modelo óptimo

La metodología propuesta por Battese y Coelli (1995), Wooldridge (2013) y Montenegro (2018) muestra que para realizar un modelo de frontera eficiente adecuado se deben estimar y comparar los tres tipos de modelos de panel de datos mostrados en 2.2. Una vez estimados los parámetros se realizan las pruebas de la cuadro 1. Primero, se debe iniciar con pruebas de contraste LM (Honda), LM (Breusch – Pagan) y F test para verificar si el modelo adecuado es tipo Pooled (Hipótesis Nula) o de Efectos fijos en individuos ( $i$ ) (Hipótesis Alternativa). Si el modelo es de efectos fijos, se debe analizar el efecto tiempo que puede contener el modelo; para ello se utilizan las pruebas LM (Breusch-Pagan) y Prueba F para efectos fijos de tiempo. Si existe un efecto tiempo (Hipótesis alternativa) se procede a verificar con el test de Hausman, considerando que el modelo puede ser una mezcla de heterogeneidad. En este análisis se determina que un modelo es de efectos aleatorios (Hipótesis nula) o si es preferible el de efectos fijos (hipótesis alternativa).

#### Cuadro 1.

Análisis estadístico para definir un modelo de panel de datos según los resultados de los modelos

Prueba	Hipótesis	Análisis
F test – Efectos fijos vs Pooled	Alternativa	Heterogeneidad significativa (usar efectos fijos)
LM (Breusch - Pagan) – Pooled vs Aleatorio	Nula	No existe efecto de panel data (Usar Pooled)
LM (Honda) – Pooled vs Aleatorio	Alternativa	Heterogeneidad significativa (usar efectos fijos)
LM (Breusch – Pagan) – efectos fijos (t)	Alternativa	Efectos significantes en el tiempo, usar Efectos fijos (t)
Prueba F para efectos individuales (t)	Alternativa	Efectos significantes en el tiempo, usar Efectos fijos (t)
Hausman – Fixed Effect (i) vs efectos aleatorios	Nula	Usar Efectos aleatorios
Hausman – Fixed Effect (t) vs efectos aleatorios	Nula	Usar Efectos aleatorios

Fuente: Basada en (Pérez et al., 2018)



### 1.3. TRATAMIENTO PREVIO DE LA INFORMACIÓN

Varios de los indicadores financieros que reposan en la base de datos utilizada para la investigación presentan valores negativos, que no son compatibles con el proceso de linealización clásica. Dado que la medición propuesta aplica únicamente para valores positivos, se utiliza el proceso de (Whittaker et al., 2005) y (Tache y Boldeanu, 2017) para una linealización de tipo “neglog” (10).

$$T(x) = \text{sign}(x) \cdot \log(|x| + 1) \quad (10)$$

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

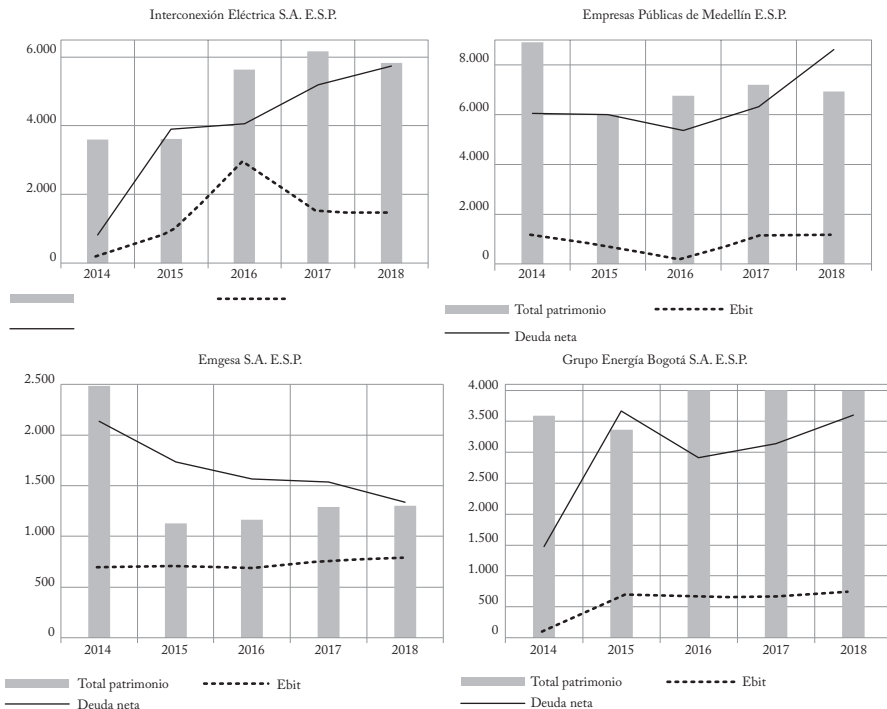
Se utiliza una base de configuración  $N = 44$  y  $t = 5$  años de entidades de servicios públicos obtenida de <https://www.emis.com/es>. Esta contiene inicialmente seis variables basadas de los balances financieros de cada entidad: activos totales, pasivos totales (pasivos corrientes y no corrientes), patrimonio total, deuda neta y EBIT (Earnings Before Interest and Taxes). Con estas variables se establece el uso de dos de ellos como variables independientes, el patrimonio y la deuda, teniendo en cuenta que usar los pasivos puede generar multicolinealidad en las series.

Revisando la información de las entidades observadas, se encuentra los datos con mayor relevancia muestran que las Empresas Públicas de Medellín, en los cinco años, es la empresa que presenta mayor patrimonio. Por el contrario, la Petroeléctrica de los Llanos muestra un patrimonio que para 2016 y 2017 fue negativo, con valores de 18.22 millones de USD en su mínimo. Seguida de esta empresa, Instelec es la segunda empresa en reflejar un patrimonio mínimo en toda su operación con rangos entre los 3 a 4 millones de dólares. Los activos empresariales muestran que Interconexión Eléctrica y Empresas Públicas de Medellín presentan activos superiores a los 10.000 millones de dólares en el registro de los cinco años de operación. En contraste, Instelec es la que menores activos registra con un máximo registrado de 12.38 millones de dólares en 2018. Sobre los pasivos empresariales, se encuentra que Instelec y el Municipio de Puerto Asís registran pasivos entre 1 a 6 millones de USD, a diferencia de Interconexión eléctrica y Empresas Públicas de Medellín con pasivos entre los 5000 a 9000 millones de USD.

Los pasivos, las deudas netas de las empresas, muestran un comportamiento diferente al esperado con la información anterior. La empresa de Energía del Casanare presenta deuda negativa entre 20 a 28 millones de USD, en contraste con Empresas públicas de Me-

dellín e Interconexión Eléctrica que presentan deuda neta entre los 3000 y 6000 millones de USD. Esto demuestra que gran parte de la deuda contraída por estas empresas se refleja en el patrimonio por ser deuda por inversión al mediano y largo plazo. Las empresas de servicios públicos más influyentes del país, por su nivel patrimonial y su alcance de servicio, muestran en todos los casos un EBIT inferior a la deuda neta o apalancamiento financiero para dar el funcionamiento operacional de las empresas. En los casos presentados en la Figura 2 se evidencia que existe un efecto correlacional sobre el patrimonio y la deuda neta; en términos de prueba de Pearson esta relación es del 94%. Al incrementar la deuda neta en las empresas implícitamente se incrementa su patrimonio, teniendo en cuenta que esta deuda sea aplicada a inversiones en capital o activos empresariales.

Gráfica 2. Empresas de servicios públicos domésticos analizadas desde el EBIT. (En millones USD)



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. APLICACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE PANEL DE DATOS.

El primer paso a desarrollar consiste en crear un modelo de panel de datos que muestre la eficiencia de las variables exógenas. Como se muestra en la gráfica 2, resultaron ser Log-Patrimonio y Log-Deuda eficientes en significancia individual y global. Como se establece en la metodología de identificación del modelo óptimo, se crean los modelos Pooled - OLS, de efectos fijos y efectos aleatorios por igual, y por medio de las pruebas estadísticas en el cuadro 2 se identifica cuál es modelo más adecuado para el modelo de frontera eficiente.

Cuadro 2.

Modelos de panel de datos previos al modelo de eficiencia productiva – variable dependiente (EBIT)

		Pooled OLS	Fijos Ef.(i)	Fijos Ef.(t)	Aleatorios Ef. (1)	Aleatorios Ef. (2)
Intercept	$\alpha$	-0.41	---	---	-0.12	-0.34
	$\sigma$	(0.41)	---	---	(0.67)	(0.56)
ln (Pat)	$\beta$	0.41***	0.20	0.43***	0.41***	0.43***
	$\sigma$	(0.10)	(0.19)	(0.10)	(0.14)	(0.12)
ln (Ded)	$\beta$	0.27***	-0.06	0.26***	0.15*	0.20***
	$\sigma$	(0.05)	(0.11)	(0.05)	(0.08)	(0.07)
Bondad de Ajuste						
$R^2$		0.42	0.01	0.43	0.10	0.20
$R^2$		0.41	-0.25	0.41	0.09	0.19
$F^{adj}$		78.50***	0.62***	80.16***	24.17***	52.66***

Nota: \*p<0.1; \*\*p<0.05; \*\*\*p<0.01; (1) Método Amemiya, (2) Método Swan

El cuadro 3 muestra las pruebas estadísticas usadas para verificar el modelo de panel de datos adecuado. Inicialmente, se contrasta la eficacia del modelo Pooled-OLS indicando que, estadísticamente, el modelo Pooled OLS no es adecuado para estimar la información y que se debe analizar un modelo de efectos fijos en (i) o en (t), gracias a la existencia de características individuales diferenciadas en los individuos (empresas).

Posteriormente, los modelos de efectos fijos analizan las pruebas F-stat (Efecto fijo (i) vs Efecto fijo (t)) y LM (Breusch – Pagan) para efectos de tiempo, la cual arroja que la primera prueba sugiere el uso de efecto tiempo, pero la segunda indica lo contrario, lo cual hace pensar que puede existir un componente de tiempo que no se puede calcular solamente como un efecto fijo de tiempo, sino un componente combinado entre individuos y tiempo.

Una vez analizados los efectos fijos, se analizan los efectos aleatorios. Para ello se usan las pruebas de Hausman de efectos fijos (i) los cuales sugieren que lo mejor sería trabajar con un modelo de efectos

fijos sin tiempo; pero ya se determinó que para este caso es mejor no descartar el efecto temporal en un modelo de efectos fijos. Además, la significancia global del modelo de efectos fijos ( $i$ ) muestra que este modelo puede ser inconsistente y carente de componentes que mejoren su lectura, así que se analiza el contraste entre un modelo de efectos fijos en tiempo y un modelo aleatorio, mostrando que es mejor el uso del modelo aleatorio que contiene los dos componentes ( $i$  y  $t$ ) a la vez. Con el modelo de efectos aleatorios elegido se estima el modelo de eficiencia estocástica.

### Cuadro 3.

Pruebas estadísticas para la elección del modelo de panel de datos.

Prueba	Stat	P-value
F stat – Efectos fijos vs Pooled	4.4024	0.000
LM (Breusch - Pagan) – Pooled vs Aleatorio	57.914	0.000
LM (Honda) – Pooled vs Aleatorio	7.6101	0.000
LM (Breusch – Pagan) – Efectos fijos (t)	1.8100	0.178
F stat – Efectos fijos (t) vs Efectos fijos (i)	4.8944	0.000
Hausman – Efectos fijos (i) vs Efectos aleatorios (1)	7.7119	0.021
Hausman – Efectos fijos (i) vs Efectos aleatorios (2)	10.067	0.006
Hausman – Efectos fijos (i) vs Efectos aleatorios (1)	4.7421	0.093
Hausman – Efectos fijos (i) vs Efectos aleatorios (2)	2.2182	0.329

Nota: (1) Amemiya Method, (2) Swan Method

Por tanto, se puede establecer que la función completa de eficiencia estocástica propuesta es (11), en donde se considera al EBIT de cada empresa, en el periodo como la variable dependiente que puede ser medida por el logaritmo de los activos totales de cada empresa en el tiempo; y la deuda financiera de cada empresa en el tiempo.

$$\ln(EBIT_t^P) = \alpha + \beta_2 \ln(Pat_t^P) + \beta_4 \ln(Ded_t^P) + v_t^P - u_t^P \quad (11)$$

### 3.2. APLICACIÓN DEL MODELO DE FRONTERA ESTOCÁSTICA (SFA)

Respecto al proceso de ejecución, el modelo SFA solo reconoce como variables de frontera estocástica al logaritmo de patrimonio y al logaritmo de deuda, en el cual se establece que este modelo propone un efecto de ineficiencia meramente estocástico como se muestra en el cuadro 4. Los resultados de este modelo muestran que:

La elasticidad del patrimonio aporta un 0.60% de eficiencia en la generación y manejo de recursos de las empresas de servicios públicos; así mismo, el parámetro de deuda responde al 0.22% de incremento de la misma eficiencia de generación y manejo de recursos. La eficiencia industrial, o eficiencia promedio de todas las empresas en el manejo

de los recursos, es del 39.74% para todos los periodos evaluados, lo que muestra su avance en crecimiento anual, pasando de 29.97% en 2014 a 49.84% en 2018.

#### Cuadro 4.

##### Modelo de frontera estocástica con efecto tiempo

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
Intercept	0.115	0.464	0.247	0.805
Ln (Pat)	0.602	0.102	5.921	0.000
Ln (Ded)	0.227	0.059	3.870	0.000
Criterios de ineficiencia técnica				
$\sigma^2$	3.173	0.6457	4.913	0.000
$\gamma$	0.442	0.111	3.996	0.000
$\eta$	0.188	0.044	4.303	0.000
$\lambda$	0.889	-----	-----	-----
mean efficiency of each year				
	2014	2015	2016	2017
	0.2997	0.3464	0.3958	0.4468
Industry efficiency:				0.3974

Respecto a los parámetros de ineficiencia técnica, se encuentra que:

1. El parámetro  $\sigma^2$  representa la evidencia estadística de ineficiencia técnica entre los datos observados y la frontera eficiente; para este caso, el parámetro presenta significancia individual de 0%, comprendiendo que el modelo estimado y la distribución del término de error es consistente y es determinística. 2. El parámetro  $\lambda$ , que permite verificar si los datos observados son adecuados en la función, es de 0.88 indicando que la ineficiencia técnica no presenta discrepancias entre los datos observados y la frontera eficiente. 3. El parámetro  $\gamma$ , como extensión del anterior, corresponde a la variación total en EBIT desde el nivel de frontera; para el modelo se obtuvo un 44% de la diferencia de EBIT observada y la frontera, explicada por factores de ineficiencia aleatorios, recordando que el modelo no tiene condicionados factores exógenos como se muestra en [7]. 4. En cuanto al parámetro de tiempo ( $\eta$ ) de la eficiencia de las empresas, el signo positivo de ésta significa que el término de ineficiencia ( $U_{it}$ ) desciende en promedio 0.18% a través de los años. Por lo mismo, la eficiencia técnica de cada empresa incrementa gradualmente de 2014 a 2018.

Las cinco empresas que tienen un mayor nivel de eficiencia a 2018 son: Codensa, Emgesa, Gases de occidente, Gas Natural y la Empresa de Energía de Pereira. El mayor nivel de eficiencia lo logra Codensa con 80.2%, luego de que en 2014 su eficiencia fuera del 64.8%. Las dos empresas que reportan menor eficiencia son Empresas Municipales de Cali, en el puesto 44, y la Generadora y Comercializadora del Caribe, en el puesto 43. Si bien estas dos empresas se encuentran

en el último lugar, se destaca que ambas han estado aumentando su eficiencia entre el periodo 2014 al 2018. Los restantes valores de eficiencia técnica se pueden verificar en la cuadro 5 y en el anexo 3.

Cuadro 5  
Ranking de eficiencia de empresas de servicios públicos

Posición	Empresa	2018	2017	2016	2015	2014
1	Codensa	80.2%	76.9%	73.2%	69.2%	64.8%
2	Emgesa	79.3%	75.9%	72.1%	67.9%	63.4%
3	Gases de Occidente	76.7%	73.0%	68.9%	64.4%	59.7%
4	Gas Natural	75.5%	71.6%	67.3%	62.7%	57.8%
5	Empresa de Energía de Pereira	75.4%	71.5%	67.2%	62.6%	57.6%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
18	Instelec	62.8%	57.6%	52.2%	46.5%	40.8%
19	Central Hidroeléctrica de Caldas	60.0%	54.5%	48.8%	43.0%	37.3%
20	Electrificadora de Santander	58.3%	52.8%	47.0%	41.1%	35.3%
21	Transelca	54.1%	48.2%	42.2%	36.2%	30.4%
22	Empresas Públicas de Medellín	52.2%	46.2%	40.2%	34.2%	28.4%
23	Soenergy International	50.4%	44.3%	38.2%	32.2%	26.5%
24	Centrales Eléctricas de Nariño	47.1%	40.9%	34.7%	28.7%	23.1%
25	Aceros Cortados	47.0%	40.8%	34.6%	28.6%	23.1%
26	Empresa de Energía del Casanare	43.7%	37.4%	31.2%	25.3%	19.9%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
43	Generadora y Comercializadora de Energía del Caribe	5.9%	3.3%	1.7%	0.7%	0.3%
44	Empresas Municipales de Cali	2.5%	1.2%	0.5%	0.2%	0.004%

La eficiencia de las empresas de servicios públicos se verá afectada en la medida que realicen grandes inversiones; más aún, en un mercado en el que la infraestructura para incrementar la cobertura, y por ende los ingresos, puede tomar varios años en desarrollarse, estas inversiones serán apalancadas mediante deuda, que, aunque no se verá su repercusión directa sobre el EBIT, sí demandaran un mayor servicio de la deuda. Lo que en principio se podrá ver como un deterioro de los resultados de la eficiencia de las empresas, al tener un mayor valor de activos sin incrementar significativamente el EBIT, el efecto transitorio que se espera en el deterioro sobre la eficiencia será suavizado mediante las altas depreciaciones que se tienen en activos en estas compañías, arrojando un menor valor en el activo. Cabe aclarar que se está haciendo referencia a nuevas inversiones, debido a que las inversiones más antiguas habrán neutralizado su efecto por el comienzo de estas operaciones.

En el cuadro 5 se pueden ratificar los desempeños de ciertas organizaciones de servicios públicos que han estado en la mira del país por sus pobres resultados como es el caso de Empresas Municipales de Cali, una empresa que estuvo más de 13 años intervenida por el Estado y con compromisos de pagos con la nación que llegan hasta la mitad de la década del 2020 (CONPES 3750), eso sin tener en

cuenta varios años de pocas o nulas inversiones, lo que ha hecho que no solo sea más costosa la operación con activos, en muchos casos obsoletos, sino ante todo la imposibilidad del crecimiento de sus ingresos por los mismos hechos. Otra empresa con mal desempeño es la Generadora y Comercializadora de Energía del Caribe, la cual, hasta su liquidación (empezada en 2016 y aún en proceso) y posterior escisión en CaribeMar y CaribeSol, fue una empresa que prácticamente tenía congelado cualquier plan de inversión, con unos desempeños operacionales que no eran nada prometedores. Para el momento del estudio era una empresa en la cual su eficiencia estaba en el fondo del cuadro de las empresas analizadas.

En la parte alta del cuadro 5 están las empresas que mejor han gestionado los recursos que tienen para la generación de ingresos, por lo cual es de esperarse que se encuentren en mercados donde mayor crecimiento han tenido los asentamientos urbanos, como en el caso de Codensa y Emgesa, las cuales se especializan en generación y comercialización respectivamente. Particularmente, en el caso de Codensa, su éxito respondió a la capitalización de finales de la primera década del siglo XXI: esto le permitió realizar una serie de inversiones que se ven reflejados en los ingresos que genera.

Respecto a las últimas dos empresas del cuadro 5, se encuentra que los datos reportados de las empresas Generadora y Comercializadora de Energía del Caribe y Empresas Municipales De Cali son muy bajos respecto a las demás entidades analizadas. Esto se refleja en el uso del EBIT empresarial, demostrando que los recursos utilizados de estas empresas no son adecuadamente utilizados en inversión sino en manejo de gastos.

## CONCLUSIONES

Este estudio propone una metodología para la medición de la eficiencia de empresas de servicios públicos domiciliarios en Colombia a través de una frontera estocástica, enfocada en el estudio de los rubros financieros que permitan determinar el factor del uso de los recursos internos y de inversión. Para ello se toma en cuenta un paralelo de las empresas de servicios públicos como un universo explorable apropiando el hecho que en Colombia son empresas que prestan servicios básicos en conjunto.

Para esto se considera la información desde 2014 hasta 2018 de 44 empresas y la aplicación de un modelo de panel data de tipo efecto aleatorio, con efecto en el tiempo, y que estructura un ranking de

eficiencia sobre la capacidad de generación de recursos operativos del universo de firmas analizadas, medido a través del indicador EBIT –Earnings Before Interés and Taxes– y se consideran como insumos de operación el endeudamiento neto y el patrimonio de las empresas.

Las firmas con mayor eficiencia encontradas son Codensa, Emgesa y Gases de Occidente. Para el año 2018 los resultados muestran un máximo de eficiencia del 80.2% para Codensa y un mínimo del 2.5% para Empresas municipales de Cali. El promedio técnico de eficiencia hallado para todas las empresas es del 39%. Una de las condiciones de esta medición subyace al hecho de que las empresas que están en periodos de inversión parecieran mostrar una menor eficiencia, si todavía los proyectos de inversión están en su fase operativa como el caso de Empresas Públicas de Medellín. Al ser un mercado donde las inversiones en infraestructura demandan recursos masivamente, es visible cómo las empresas que prevalecen con inversiones constantes no necesariamente muestran una mejor eficiencia.

Las empresas que aparecen en la parte alta del cuadro 5, son empresas que año tras año han ido incrementando su eficiencia de manera importante. Aunque es una constante en el sector, solo las empresas en el top 5 llegan a niveles que duplican el promedio del 39%, demostrando resultados muy superiores a empresas que, a priori, por su nombre y reconocimiento se esperaría que estuvieran liderando el ranking.

Como limitante y futuras exploraciones, si bien la base de datos utilizada fue apropiada para la revisión inicial del proceso de eficiencia y frontera estocástica, se puede requerir de mayor cantidad de rubros financieros para tener un análisis más robusto que permita conocer variables de ineficiencia técnica. Se propone a los investigadores abordar medidas de eficiencia, tanto de corto como de largo plazo. Esto exigirá la segmentación del tipo de inversiones y activos existentes en función de su aporte a la generación de valor de la compañía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadzai, H. (2017). Crop Diversification and Technical Efficiency in Afghanistan: Stochastic Frontier Analysis. *CREDIT Research Paper*, Art. 17-04.
- Amar, J., y Echevarría, J. (2008). El Control Ciudadano De Los Servicios Públicos Domiciliario. *Revista de Derecho*, 1(29), 129-152.
- Arango, H. (1993). Ecuación de la frontera de posibilidades de producción utilizando la función Cobb-Douglas (nota didáctica). *Lecturas de Economía*, 39(39). 151-182.



- Bastidas, H. (2014). La actividad administrativa, la función pública y los servicios públicos. *Con-Texto, Revista de Derecho Económico*, 0(41), 51-66.
- Battese, G. E., y Coelli, T. J. (1992). Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 3(1-2), 153-169.
- Battese, G. E., y Coelli, T. J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 20(2), 325-332.
- Buchelli-Lozano, G., y Marín-Restrepo, J. (2012). Estimación de la eficiencia del sector metalmecánico en Colombia: Análisis de la frontera estocástica. *Cuadernos de Economía (Colombia)*, 31(58), 257-286.
- Campano, C. C., González, M. A., Fariás, N. C. et al. (2016). La productividad total de factores en el sector manufacturero chileno. *Revista de Economía Institucional*, 18(35), 229-255.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281.
- Fraser, I. (2002). The Cobb-Douglas Production Function: An Antipodean Defence? *Economic Issues Journal Articles*, 7(1), 39-58.
- Gómez, A., y Ceballos, C. (2016). *Estimación de la eficiencia de la educación superior en Colombia*. Colombia: Universidad EAFIT.
- Greene, W. H. (2008). *Econometric Analysis*: Pearson-Prentice Hall, 8th (ed.), [https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Greene-Econometric-Analysis-8th-Edition/PGM334862.html?tab=order]
- Hassan, A. R., Montoya, R. C., y Peláez, S. G. (2011). Desempeño de las empresas y factores institucionales en Colombia, 2002-2007. *Revista de Economía Institucional*, 13(25), 179-198.
- Melo-Becerra, L. A., Ramos-Forero, J. E., y Hernández-Santamaría, P. O. (2017). La educación superior en Colombia: situación actual y análisis de eficiencia. *Desarrollo y Sociedad*, 2017(78), 59-111.
- Montenegro, Á. (2008). *Econometría Intermedia y Básica*. Colombia: Universidad Javeriana.
- Montero, R. (2011). Efectos fijos o aleatorios: test de especificación. *Documentos de Trabajo en Economía Aplicada*. España: Universidad de Granada.
- Pérez, C., Gómez, D., y Lara, G. (2018). Determinantes de la capacidad tecnológica en América Latina: una aplicación empírica con datos de panel. *Economía Teoría y Práctica Nueva Época*, 48(1), 75-124.
- Quintana, L., y Mendoza, M. Á. (2016). Econometría aplicada usando R. En L. Quintana y M. Á. Mendoza (eds.), *Econometría Aplicada Utilizando Regresiones* (1st ed.). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramírez, A. (2014). Ajuste de una función de producción al sector financiero en Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 23(1), 141-156.
- Schmidt, P. (1988). Estimation of a fixed-effect Cobb-Douglas system using panel data. *Journal of Econometrics*, 37(3), 361-380.
- Ley 142 de 1994*, 597 (1994). Testimonio del Senado de la República de Colombia.

- Superintendencia De Servicios Públicos Domiciliarios, y DNP. (2002). *Régimen Básico 20 años*. Colombia: DNP.
- Tache, I., y Boldeanu, F. (2017). Economic growth in south eastern europe: an investigation for six eu candidate and potential candidate countries. *Journal of smart economic growth*, 2(2), 123-139.
- Valencia, G. (2004). Metamorfosis del Estado: de empresario a regulador: El caso de los servicios públicos domiciliarios en Colombia. *Ecos de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics*, 8(18), 7-32.
- Whittaker, J., Whitehead, C., y Somers, M. (2005). The neglog transformation and quantite regression for the analysis of a large credit scoring database. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 54(5), 863-878.
- Wooldridge, J. M. (2013). *Introductory Econometrics A Modern Approach*. Reino Unido: CENGAGE Learning.

## ANEXOS

### ANEXO 1.

#### Ranking completo de eficiencia de empresas de servicios públicos

	Posición	2018	2017	2016	2015	2014
Codensa	1	80.2%	76.9%	73.2%	69.2%	64.8%
Emgesa	2	79.3%	75.9%	72.1%	67.9%	63.4%
Gases de Occidente	3	76.7%	73.0%	68.9%	64.4%	59.7%
Gas Natural	4	75.5%	71.6%	67.3%	62.7%	57.8%
Empresa de Energía de Pereira	5	75.4%	71.5%	67.2%	62.6%	57.6%
Empresa de Energía del Quindío	6	72.7%	68.5%	64.0%	59.1%	53.9%
Interconexión Eléctrica	7	72.2%	67.9%	63.3%	58.3%	53.1%
Cryogas	8	71.2%	66.8%	62.1%	57.1%	51.8%
Empresa de Energía del Pacífico	9	70.2%	65.8%	60.9%	55.8%	50.4%
Aguas de Cartagena	10	70.2%	65.8%	60.9%	55.8%	50.4%
Petro eléctrica de los Llanos	11	69.6%	65.0%	60.1%	55.0%	49.6%
Electrificadora del Huila	12	68.7%	64.0%	59.1%	53.8%	48.4%
ISAGEN	13	68.5%	63.8%	58.8%	53.5%	48.1%
Electrificadora del Meta	14	66.3%	61.4%	56.2%	50.8%	45.2%
Compañía de Electricidad de Tuluá	15	66.0%	61.1%	55.8%	50.4%	44.8%
Municipio de Puerto Asís	16	65.5%	60.5%	55.2%	49.7%	44.1%
Gas Natural del Oriente	17	64.5%	59.5%	54.2%	48.6%	43.0%
Instelec	18	62.8%	57.6%	52.2%	46.5%	40.8%
Central Hidroeléctrica de Caldas	19	60.0%	54.5%	48.8%	43.0%	37.3%
Electrificadora de Santander	20	58.3%	52.8%	47.0%	41.1%	35.3%
Transelca	21	54.1%	48.2%	42.2%	36.2%	30.4%
Empresas Públicas de Medellín	22	52.2%	46.2%	40.2%	34.2%	28.4%
Soenergy International	23	50.4%	44.3%	38.2%	32.2%	26.5%
Centrales Eléctricas de Nariño	24	47.1%	40.9%	34.7%	28.7%	23.1%
Aceros Cortados	25	47.0%	40.8%	34.6%	28.6%	23.1%
Empresa de Energía del Casanare	26	43.7%	37.4%	31.2%	25.3%	19.9%
Acueducto y Alcantarillado de Villaviciencia	27	43.2%	36.8%	30.6%	24.7%	19.4%
Empresa de Energía Eléctrica de Arauca	28	39.8%	33.4%	27.2%	21.5%	16.4%
Gestión Energética	29	38.9%	32.5%	26.4%	20.7%	15.7%
Empresa Urra	30	37.0%	30.6%	24.5%	18.9%	14.1%
Empresas Públicas Municipales de Armenia	31	35.7%	29.4%	23.3%	17.8%	13.1%
Aguas de Manizales	32	35.7%	29.3%	23.3%	17.8%	13.1%
Acueducto Metropolitano de Bucaramanga	33	32.6%	26.3%	20.4%	15.2%	10.8%
Empresas Públicas Municipales de Neiva	34	32.2%	25.9%	20.1%	14.9%	10.6%

	Posición	2018	2017	2016	2015	2014
Acueductos y Alcantarillados del Valle del Cauca	35	32.0%	25.7%	19.9%	14.7%	10.4%
Electrificadora del Caquetá	36	31.6%	25.3%	19.5%	14.4%	10.1%
Empresa Pública de Alcantarillado de Santander	37	31.3%	25.0%	19.3%	14.2%	9.9%
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira	38	28.3%	22.1%	16.6%	11.8%	8.0%
Empresa Distribuidora del Pacífico	39	27.5%	21.4%	15.9%	11.3%	7.6%
Empresas Municipales de Cartago	40	19.6%	14.3%	9.8%	6.2%	3.7%
Celsia	41	18.5%	13.3%	9.0%	5.6%	3.3%
Grupo Energía Bogotá	42	12.5%	8.3%	5.1%	2.8%	1.4%
Generadora y Comercializadora de Energía del Caribe	43	5.9%	3.3%	1.7%	0.7%	0.3%
Empresas Municipales de Cali	44	2.5%	1.2%	0.5%	0.2%	0.0%