ASOCIACION ARGENTINA
DE ECONOMIA POLITICA

ANALES | ASOCIACION ARGENTINA DE ECONOMIA POLITICA

XLIX Reunión Anual

Noviembre de 2014

ISSN 1852-0022
ISBN 978-987-28590-2-2

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR DE AGUA Y SANEAMIENTO: ESTIMACIONES UTILIZANDO UNA FUNCIÓN DE REQUERIMIENTOS DE INSUMO

Ferro, Gustavo
Lentini, Emilio
Mercadier, Augusto
Brenner, Federica

Eficiencia energética en el sector de agua y saneamiento: estimaciones utilizando una función de requerimientos de insumo

Gustavo Ferro[1], Emilio J. Lentini[2], Augusto C. Mercadier[3] y Federica Brenner[4]

29 08 14

Resumen: Se analiza con métodos de frontera (función de requerimiento de insumos) la eficiencia energética relativa de los prestadores de agua y saneamiento en áreas urbanas de Brasil. Se estiman reducciones de consumo energético factibles a partir de medidas que el sector puede controlar. Se encuentra una eficiencia promedio de la muestra del 63% respecto de las mejores prácticas empíricas. Una reducción de pérdidas del 10% disminuiría el 4,2% del consumo de electricidad de toda la muestra y una suba del 10% en el ratio entre clientes con saneamiento y con agua lograría descensos del 1,45% en el insumo bajo estudio.

Abstract: We analyze by means of frontier methods (input requirement function) the relative energy efficiency of urban water and sanitation providers in Brazil. We estimate energy savings through measures the sector could implement on variables which control. We find a 63 percent efficiency average, with respect to best practices in the sample (the frontier). We estimate that a 10 percent reduction in unaccounted-for water can reduce 4.2 percent the electricity consumption for the whole sample; also, a reduction in 10 percent of the breach of coverage between sanitation and water can achieve reductions of 1.45 percent in the input under study.

Palabras clave: eficiencia energética, agua y saneamiento, métodos de frontera, SFA

Key Words: energy efficiency, water and sanitation, frontier methods, SFA

Códigos JEL/JEL Codes: L51 L95

1. Introducción

Los problemas vinculados con la economía de la energía han variado a lo largo del tiempo. En los años 1970s, la atención estaba dirigida en especial al mercado petrolero, la sustitución de energías fósiles y la búsqueda de alternativas en las energías renovables. En los años 1980s la discusión se centró en los efectos ambientales de la producción y utilización de energía. Durante los 1990s se discutió la liberalización de los mercados energéticos y la restructuración (desintegración vertical e introducción de competencia en algunos segmentos del proceso productivo). La discusión ambiental se enfocó en los efectos del cambio climático. En años recientes, el debate ha pasado a los altos costos de la energía, la escasez de fuentes de suministro, la seguridad energética y la conservación (Bhattacharyya, 2011).

Como corolario de la preocupación de los países y de los foros internacionales sobre el acceso, la eficiencia y la sostenibilidad del servicio de energía eléctrica, en 2011 la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el "Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos" definiendo tres objetivos globales a cumplir a más tardar en 2030: i) asegurar el acceso universal a los servicios de energía modernos (especialmente a la electricidad y a soluciones limpias y modernas para cocinar); duplicar la tasa global de mejora en la eficiencia energética

[1] Director (a/c) Instituto de Economía UADE y CONICET, gferro@uade.edu.ar
[2] Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Institute of the Universidad de Buenos Aires (UBA), and International Research Group: "Water Governance in the Americas" (CNRS/France-UBA), ejlentini@yahoo.com.ar
[3] ERAS y Universidad Nacional de La Plata, amercadier@econo.unlp.edu.ar
[4] ERAS, federica.brenner@gmail.com

respecto del ritmo histórico; y iii) duplicar la cuota de las energías renovables en el conjunto de fuentes.

Esta iniciativa ha sido adoptada formalmente por unos 70 países, y numerosas empresas y organismos han realizado cuantiosas inversiones para la consecución de los objetivos. A fines de 2012, la Asamblea General de las Naciones Unidas anunció la "Década de la energía sostenible para todos" comprendida entre 2014 y 2024[5]. Complementariamente el Banco Mundial y el Programa de Asistencia a la Gestión del Sector de la Energía (ESMAP), junto a otros organismos, han desarrollado un marco para evaluar los progresos globales que se realicen hasta 2030[6].

Con relación al vínculo entre los sectores de energía y agua, cabe considerar que el crecimiento económico trae aparejado un incremento en la demanda de energía, que necesita de agua para su producción, y el aumento poblacional conlleva una mayor demanda de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario o saneamiento[7], que implica el consumo de más energía. El problema anterior, se potencia por condiciones ambientales (fuentes más lejanas, contaminadas y situadas en lugares inconvenientes), calidad requerida de los servicios (necesidad de mayor tratamiento del agua para potabilizarla), preocupación por efectos externos de uso de agua (tratamiento de las aguas servidas), etc.

Siendo más específico, la electricidad es un insumo crítico para los servicios urbanos de agua potable y alcantarillado y tiene destacada incidencia en los gastos de operación (entre 5 y 30% en todo el mundo, según Liu et al, 2012). La amplia variabilidad se origina en condiciones particulares de provisión. El peso relativo puede variar significativamente dependiendo de las condiciones topográficas y climáticas. Datos para Brasil del 2010 arrojaron que el consumo energético de las empresas prestadoras del país fue aproximadamente del 2,4% del consumo total nacional (Silva Vieira, 2012).

En este caso, el agua y la energía están intrínsecamente ligados, tanto desde el lado de la oferta (generación eléctrica e instalaciones de agua potable y alcantarillado), como desde el lado de la demanda (los usuarios finales residenciales, comerciales, industriales, agricultura y minería).

En Brasil, el sector tiene déficits de cobertura (mayores en alcantarillado que en agua potable), presenta elevadas pérdidas de agua en red (por cuestiones técnicas y comerciales), siendo altamente probable que entre un tercio y la mitad del agua producida e inyectada en el sistema de distribución se pierda según el prestador, y no en todos los casos las tarifas recuperan los costos.

Por el lado de la oferta, las necesidades de energía se pueden reducir con nuevos y mejores equipos (incluidos los de impulsión y los de medición de caudales), mejor mantenimiento de los existentes y reducción de pérdidas técnicas por roturas o desperfectos. A su vez, los requerimientos de calidad pueden elevar las necesidades de energía por unidad de producto. Por el lado de la demanda, la medición de los consumos finales y un adecuado tratamiento tarifario, de subsidios e impuestos, junto con cambios en el equipamiento del hogar y complementadas con campañas educativas para reducir el derroche y combatir malos hábitos, pueden disminuir el consumo de agua y con ello la producción requerida. Además, se facilita la detección y prevención de pérdidas comerciales (clandestinos). Entre los ahorros por el lado de la demanda y aquellos por el lado de la oferta, cae la intensidad energética por

[5] Mayor información en http://www.se4all.org/

[6] Mayor información en http://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/Global-Tracking-Framework-Report

[7] En adelante referido como alcantarillado

unidad de producto (kwh/m3), por una parte, y disminuye el producto por otro (m3), reduciendo globalmente el consumo de energía total (kwh) y mejorando la calidad del servicio (por ejemplo, la presión).

El primer objetivo de este trabajo es analizar con métodos de frontera (función de requerimiento de insumos) la eficiencia energética relativa de los prestadores de agua y saneamiento de Brasil. Se procuran identificar condiciones de contexto que configuran las diferencias de eficiencia energética entre prestadores. En segundo lugar, se procuran estimar reducciones de consumo energético factibles a partir de medidas que el sector puede implementar sobre las variables que controla. Tras esta introducción, la sección 2 sintetiza la discusión de eficiencia energética en la industria del agua potable y los estudios de eficiencia en el sector que se encuentran en la literatura. En la sección 3 se presenta el método y el modelo a estimar. La sección 4 detalla los datos. En la sección 5 se hace la discusión de resultados y en la sección 6 se exponen las conclusiones del estudio.

2. Literatura

El agua cruda se destina a varias categorías de usuarios: residencial, comercial, industrial, minero, agrícola y energía[8]. El uso para abastecimiento humano requiere generalmente más energía, porque el agua debe ser tratada según la norma de potabilización especificada por la autoridad sanitaria de aplicación. Además, se suele bombear a mayores distancias, mientras que usuarios mineros, energéticos y agrícolas se autoabastecen en general consumiendo el agua en las proximidades de donde se utiliza (Sanders & Webber, 2012).

La intensidad energética se define como el total de energía requerida para proveer un determinado volumen de agua en una localización específica (Cohen et al, 2004). La intensidad energética de un volumen de agua está influenciada por factores tales como la calidad de la fuente, la proximidad a la planta de potabilización y a sus destinatarios, la topografía del terreno donde se debe realizar la distribución y el uso final previsto. El consumo eléctrico de cada prestador depende en definitiva del diseño del sistema de agua, como así también de la altura y la distancia que el agua necesita ser bombeada (Denig-Chakroff, 2008).

Para captar, elevar y transportar el agua hasta la planta de potabilización, el uso de energía varía según la fuente: aguas superficiales, aguas subterráneas, agua salada (que requiere un proceso de desalinización) y aguas recicladas. La eficiencia energética es altamente dependiente de las condiciones topográficas del sitio en el que están las instalaciones del operador y la red de distribución de agua (Go Brazil Associados, 2013). Incide en primer lugar la *profundidad de la captación*. El agua subterránea requiere una carga mayor de bombeo para su extracción que captaciones superficiales en lagos o ríos. La *distancia de la fuente* de captación a la planta también es importante. La *topografía* del terreno es un tercer elemento. La fase de extracción puede requerir en promedio entre el 10 y el 30% del consumo energético total para la potabilización de agua, según la fuente sea superficial o subterránea (Liu et al, 2012).

Luego viene la fase de potabilización. La intensidad energética de una tecnología dada se correlaciona con el *volumen*, la *concentración*, y la *naturaleza de las bacterias a ser removidas*. Las aguas subterráneas por lo general requieren mucho menos tratamiento que las aguas superficiales, a veces sólo para la cloración del agua cruda, que demanda muy poca

[8] Los primeros tres usos representan alrededor de un 10% del total a nivel mundial.

electricidad. La etapa de potabilización puede requerir en promedio entre un mínimo de 1% y un máximo de 10% del consumo energético total para agua, según la fuente sea subterránea o superficial respectivamente (Liu et al, 2012).

La etapa de transporte es la más costosa en términos energéticos, dado que para la distribución y el mantenimiento de la presión en la red se necesita el bombeo del agua y la presurización. Incluso, el bombeo también se requiere para mover al agua hasta los reservorios para hacer frente a picos de demanda. Las pérdidas incrementan la intensidad energética, dado que la energía consumida en la captación, tratamiento y transporte se pierde en parte por las filtraciones. La etapa de distribución puede requerir en promedio entre un 69% y un máximo de 80% del consumo energético, según la fuente sea subterránea o superficial respectivamente (Liu et al, 2012).

El sistema de alcantarillado está compuesto por recolección y transporte de las aguas servidas (10% de la energía usada en esta etapa dependiendo de la gravedad, según Liu et al, 2012), el tratamiento (55% del requerimiento energético en esta fase, mayormente para aireación, acorde a Liu et al, 2012) y la disposición o reuso de los lodos provenientes de los efluentes (35% de la energía utilizada en alcantarillado, según Liu et al, 2012). Todas las etapas requieren de energía, especialmente las que hacen uso de bombeo. El consumo depende del tamaño de la planta, el tipo de proceso y la eficiencia; algunas plantas de tratamiento recuperan energía en forma de biogás, lo que reduce el consumo neto.

Es importante destacar que como la eficiencia energética es altamente dependiente de las condiciones topográficas del sitio en el que están las instalaciones del operador y la red de distribución de agua, la comparación entre las empresas de servicios públicos de agua está sujeta a una cierta distorsión (Rosas Moya, 2011). Sin embargo, existen posibilidades metodológicas para mitigar este problema. Dado que las características topográficas o ambientales suelen estar fijas en el tiempo para cada prestador, las variaciones a lo largo del tiempo de la eficiencia energética permitirían aislar esta heterogeneidad entre los prestadores. Por lo que, la variación en el nivel de eficiencia de una empresa de un año a otro como porcentaje permitiría hacer más comparables los porcentajes de variación en la eficiencia con otros prestadores, aunque podría persistir cierta heterogeneidad. De esta manera, calcular la evolución de la eficiencia de un prestador permite observar cómo ha sido el desempeño de un prestador respecto de su performance pasada y si la misma mejora o no. A su vez, la posibilidad de medir esa evolución en términos de porcentajes permite observar si tal variación es porcentualmente superior, inferior o igual al resto de los prestadores.

Si bien no se encontraron antecedentes sobre función de requerimiento de insumos aplicadas al sector de agua y saneamiento de Brasil, sí hay numerosos aportes sobre eficiencia comparativa, con diversos métodos y enfoques para ese país. Castro (2003), Carmo & Távora Júnior (2003), Tupper & Resende (2004), Faria et al. (2005), Ohira (2005) –para Sao Paulo-, Seroa da Motta & Moreira (2006) y Grigolin (2007) realizan estimaciones de frontera de producción con métodos de programación matemática (DEA) y econométricos (SFA) para determinar eficiencia técnica.

En tanto, Sabbioni (2008), Souza et al. (2008), Campos (2011), Ferro et al. (2014) estiman fronteras de costos con métodos econométricos para estudiar eficiencia económica. Moreira & Fonseca (2005) compara medidas de productividad parcial con aquellas obtenidas mediante DEA y SFA. Por su parte, De Santis y Halabi (2011) estimaron funciones de distancia con datos de panel. Campos (2011) estima economías de escala y eficiencia técnica.

En cuanto a las políticas de eficiencia energética en Brasil, la Tabla A1 del Apéndice sintetiza los avances institucionales recientes, los actores clave, los recursos y financiación con

que cuentan, los logros, las dificultades y las lecciones aprendidas, en todos los sectores de la economía (Carpio & Coviello, 2013).

3. Método y modelo a estimar

Una función de distancia se define como la diferencia entre la localización o posición de una unidad de decisión y el límite de las posibilidades de producción. Una importante ventaja de las funciones de distancia es que permiten considerar la producción de múltiples productos con más de un insumo, cuya consideración está vedada en el caso de la función de producción (aunque no en la función de costos), donde sin embargo si lo que se está estudiando son condiciones técnicas de producción, se requiere otra información (monetaria) que puede no estar disponible o no ser pertinente (Coelli & Perelman, 2000).

La función de distancia puede tener una orientación a los insumos o a los productos. La primera mira cómo el vector de insumos puede ser proporcionalmente contraído manteniendo constante la producción, en tanto la segunda determina cómo el vector de productos puede ser proporcionalmente expandido manteniendo constante el vector de insumos. La función de distancia es no decreciente en insumos y en productos, linealmente homogénea en los insumos, cóncava en éstos últimos y cuasicóncava en productos. Si un vector de insumos pertenece a la función de producción entonces la función de distancia es mayor o igual a uno y la distancia es igual a la unidad si el vector de insumos pertenece a la frontera del conjunto de insumos (Coelli et al, 2005).

Una función de distancia definida sobre M productos y N insumos toma la forma:

dit = d(x1it, x2it, …, xNit, y1it, y2it, …, yMit)

Donde di>=1 es la máxima cantidad en la cual el vector de insumos puede ser radialmente contraído sin cambiar el vector de productos.

Dado que normalmente los servicios públicos de infraestructura tienen obligación de prestar el servicio en tanto la red domiciliaria esté construida (es decir, no pueden rechazar clientes disminuyendo la producción como decisión empresaria), la forma en que pueden incrementar su eficiencia es reduciendo su uso de insumos, para un producto dado. Es decir, que es apropiado plantear el problema como función de distancia orientado a los insumos. Sin embargo, para el caso particular que nos ocupa, una forma más adecuada de formulación del modelo es uno de requerimientos de insumos, dado que se quiere estudiar la eficiencia en el uso de un insumo particular (energía), dados los productos y los demás insumos. En la función de requerimiento de insumos no hay una contracción proporcional de todo el vector de insumos sino la contracción de un único insumo bajo estudio. La formulación es semejante a una función de distancia en el caso de un único insumo, en tanto los restantes, que se mantienen constantes, son regresores (Coelli et al, 2005). Una función de requerimiento de insumos es una formulación apropiada cuando se supone que las unidades de decisión tienen cierto control discrecional sobre el uso de un insumo, en tanto los otros están fijos por alguna razón (contratos laborales rígidos, poder sindical, restricciones a expandir las inversiones en el corto plazo, contratos de aprovisionamiento con subcontratistas con inercia en el tiempo, etcétera) (Estuche et al, 2004).

El modelo de Batesse & Coelli (1992), basado en el el Análisis de Fronteras Estocásticas (Stochastic Frontier Analysis o SFA), estima en un paso la eficiencia y sus determinantes. Los niveles de eficiencia se derivan de una forma funcional especificada ex ante

y regresadas de un vector de variables de contexto[9] en un solo paso. La forma general de la frontera es:

xit=x(yit, git, zit, β) + vit + uit

Donde x_{it} es el requerimiento de insumo observado para cada unidad de decisión (Decision Making Unit o DMU) i-ésima, en el período t;

y_{it} es el vector de productos;

g_{it} es el vector de otros insumos;

z_{it} es el vector de las variables de contexto;

β es un vector de parámetros desconocidos a estimar;

$v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$ es un error aleatorio independiente e idénticamente distribuido,

$u_i \sim N^+(\mu, \sigma_u^2)$ es el parámetro de ineficiencia con distribución normal truncada.

Además, u_i y v_{it} se distribuyen independientemente de cada una y de las covarianzas del modelo.

El modelo estocástico de frontera y el modelo para el término de ineficiencia se estiman simultáneamente mediante máxima verosimilitud. La función de verosimilitud se expresa en términos de:

1) los parámetros de la varianza σ^2 del error compuesto *vit + uit* , y de

2) gamma, el cociente entre las varianzas del término de ineficiencia y de la totalidad del error compuesto, $\gamma = \frac{\sigma^2_u}{\sigma^2}$, $\gamma \in (0; 1)$;

Como el error se compone de dos variables independientes, u_i y v_{it}, la varianza del término de error compuesto se define como $Var(e) = \sigma^2 = \sigma^2_u + \sigma^2_v$ y podemos testear con el valor de $\gamma = \frac{\sigma^2_u}{\sigma^2}$; $\gamma \in (0; 1)$ si el término de error está explicado por eficiencia o pura aleatoriedad. Específicamente, si $\gamma = 0$, entonces la variabilidad de los residuos está completamente explicada por el componente aleatorio *v*.

El valor de ineficiencia para una unidad de decisión (prestador) individual *i* se obtiene como un $Constantineff_{it} = exp(u_{it})$, con valores entre la unidad e infinito. Sin embargo, en la literatura se informan medidas de eficiencia más que de ineficiencia, calculándose la inversa multiplicativa del valor anterior, que toma un valor máximo de 1 (unidad eficiente) y da un puntaje fraccionario a las unidades por debajo de la frontera.

Se ha incluido la variable temporal para capturar el progreso tecnológico o desplazamiento de la frontera (*frontier shift*) ocurrido en el tiempo. Primero, se supone que el cambio tecnológico afecta a la función de requerimiento de insumos directamente; esto es, las unidades de decisión están sujetas a los mismos shocks tecnológicos en el tiempo. Se aproximan tales shocks incluyendo un componente lineal del tiempo en la representación Cobb Douglas y cuadrático en el caso Translogarítmico. La tasa de cambio tecnológico está dada por T* = -∂X/∂T. El tiempo puede implicar un aumento o reducción sobre los requerimientos de

[9] "Environmental" en la literatura en inglés. Optamos por una expresión que no diera lugar a confusión con aspectos de medio ambiente, cuando se está hablando de elementos del entorno, o en términos econométricos "variables de control".

insumos, debido al progreso técnico. El cambio es progresivo si T* > 0 (los requerimientos de insumo están cayendo) y regresivo si T* < 0 (los requerimientos de insumo están aumentando.

La capacidad en una firma de convertir insumos en productos suele estar influida por variables exógenas que condicionan el ambiente productivo. Cuando se tiene en cuenta esas variables de contexto, es útil distinguir las no estocásticas y observables de las puramente aleatorias e inesperadas, fuera de control de los gerentes. Las primeras se incorporan directamente en la función a estimar, no afectando las propiedades de la función estimada (Coelli et al, 2005). Al modelo básico anterior se incorporan selectivamente variables de contexto (también llamadas ambientales, hedónicas o de control). Implican hacer más justas las comparaciones, explicando la heterogeneidad de situaciones que afectan a las unidades de decisión y no están bajo su control. Bogetoft (2012), sugiere que las variables contextuales pueden ser manejadas como insumos o productos no controlables, que pueden afectar la intensidad de uso de los restantes insumos o la productividad de los mismos en el proceso productivo.

Se debe elegir una forma funcional: estimamos respectivamente una Cobb-Douglas y una Translogarítmica que es una forma más flexible y general.

A fin de estimar las fronteras de requerimiento de insumos, se han corrido dos versiones: con ineficiencia constante en el tiempo o time invariant (TI) y con ineficiencia variable en el tiempo o time varying decay (TVD). El supuesto de que uit se distribuyen independientemente puede ser irrealista. En muchas industrias se puede esperar que las unidades decisorias eficientes en un período lo sigan siendo en el tiempo y viceversa, sin grandes variaciones en sus registros. Una forma de recoger esto último es suponer que uit = ui para todo t, donde ui se trata como un parámetro fijo. Alternativamente se puede suponer que la eficiencia técnica cambia a lo largo del tiempo uit = f(t) ui.

En la versión TI se asume que la ineficiencia tiene una distribución normal truncada mientras que, en la parametrización de Battese & Coelli (1992) del efecto del tiempo, el término de ineficiencia es una variable aleatoria normal truncada multiplicada por una función específica del tiempo.

En la versión TVD, el modelo es $u_{it} = \exp\{-\eta(t - T_i\}\, u_i$ donde

T_i es el último período en el panel *i*,

η es el parámetro de variación en el tiempo de la ineficiencia,

$u_i \sim N^+(\mu, \sigma_u^2)$ es el parámetro de ineficiencia, independiente e idénticamente distribuido,

$v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$ es el error aleatorio independiente e idénticamente distribuido.

Si bien en los modelos TVD los niveles de eficiencia cambian en el tiempo, los mismos varían en igual proporción para todas las empresas, con lo cual no existen cambios en los rankings de un año a otro. Cabe aclarar, que la eficiencia aumenta (cae) en el tiempo cuando el coeficiente η es positivo (negativo). Se testea TI restringiendo $\eta = 0$ en el modelo TVD.

Se presentan las fórmulas Cobb-Douglas (1) y Translogarítmica (2), para el caso de función de requerimiento de insumos. Allí x_i denota el logaritmo del insumo i-ésimo (electricidad), g_j el logaritmo de los otros j insumos, y_m el logaritmo de los M productos, z_z para las Z variables ambientales (ratios o logaritmos de niveles), y t simboliza el tiempo. Se usa β para los coeficientes estimados.

$$-x_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^{J} \beta_j g_{jt} + \sum_{m=1}^{M} \beta_m y_{mt} + \sum_{z=1}^{Z} \beta_z z_{zt} + v_{it} + u_{it} \quad (1)$$

$$-x_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^{J} \beta_j g_{jt} + \sum_{m=1}^{M} \beta_m y_{mt} + \sum_{z=1}^{Z} \beta_z z_{zt} + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} \beta_{jl} g_{jt} g_{lt} + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{J}\sum_{m=1}^{M} \beta_{jm} g_{jt} y_{mt} + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{J}\sum_{z=1}^{Z} \beta_{jm} g_{jt} z_{zt} +$$
$$+ \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{h=1}^{H} \beta_{mh} y_{mt} y_{ht} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{z=1}^{Z} \beta_{mz} y_{mt} z_{zt} + \frac{1}{2}\sum_{z=1}^{Z}\sum_{r=1}^{R} \beta_{zr} z_{zt} z_{rt} + v_{it} + u_{it}$$

(2)

Condición de simetría

$\beta_{jl} = \beta_{lj}$ para todo j=1,..., J e i=1,..., I y $\beta_{mh} = \beta_{hm}$ para todo m=1,..., M y h=1,..., H

Se impone la restricción de homogeneidad para normalizar la función, dividiendo por uno de los insumos todos los restantes (fórmula 3 para el caso Cobb-Douglas y 4 para la Translogarítmica).

$$-x_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^{J} \beta_j \frac{g_{jt}}{x_{it}} + \sum_{m=1}^{M} \beta_m y_{mt} + \sum_{z=1}^{Z} \beta_z z_{zt} + v_{it} + u_{it} \quad (3)$$

$$-x_{it} = \beta_0 + \sum_{j\neq 0} \beta_j \frac{g_{jt}}{x_{it}} + \sum_{m=1}^{M} \beta_m y_{mt} + \sum_{z=1}^{Z} \beta_z z_{zt} + \frac{1}{2}\sum_{j\neq 0}\sum_{l\neq 0} \beta_{jl} \frac{g_{jt} g_{lt}}{x_{it} x_{it}} + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{J}\sum_{m=1}^{M} \beta_{jm} \frac{g_{jt}}{x_{it}} y_{mt} + \frac{1}{2}\sum_{j\neq 0}\sum_{z=1}^{Z} \beta_{jm} \frac{g_{jt}}{x_{it}} z_{zt} +$$
$$+ \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{h=1}^{H} \beta_{mh} y_{mt} y_{ht} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{z=1}^{Z} \beta_{mz} y_{mt} z_{zt} + \frac{1}{2}\sum_{z=1}^{Z}\sum_{r=1}^{R} \beta_{zr} z_{zt} z_{rt} + v_{it} + u_{it} \quad (4)$$

Si el modelo se ha estimado por máxima verosimilitud, como en este caso, las hipótesis sobre efectos individuales se testean usando un test z. Las hipótesis concernientes a más de un coeficiente se testean usualmente usando un test de verosimilitud (LR Test).

4. Datos

Los datos provienen del Sistema Nacional de Informaciones sobre Saneamiento de Brasil (SNIS) e incluyen un panel de 128 proveedores durante el período 2005-2011 (6 años), siendo un total de 768 observaciones.

La desagregación de variables del SNIS es amplia, aunque la disposición de observaciones no es uniforme para todas las variables. Se pudieron establecer cuatro insumos a partir de los cuales se produce el agua (v4) -electricidad (v1), trabajo (v2), capital (v3) y químicos (v5)-. Comparaciones que resulten consistentes, requieren reconocer las restricciones disímiles que enfrentan los prestadores. Como variables de contexto se consideraron: la densidad de clientes (v6), los municipios atendidos por cada prestador (v7), la proporción de usuarios medidos (v8), la proporción de agua perdida no contabilizada (v9), la proporción de clientes de saneamiento respecto a los clientes de agua (v10), la proporción de clientes residenciales sobre no residenciales (v11), la proporción de agua tratada sobre agua producida (v12) y la proporción de aguas residuales tratadas sobre el total recolectado (v13).

La Tabla 1 proporciona la estadística descriptiva de las variables anteriores, las cuáles en muchos casos resultaron rechazadas por su significación en el análisis empírico.

Tabla 1: Estadística descriptiva de la base de datos utilizada.

	Variable	N	Períodos	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo
v4	M3 de agua producida	768	6	66499	200201	204	1830644
v1	Kwh de electricidad consumida	768	6	51294	138002	19	1029956
v2	Trabajadores equivalentes a tiempo completo	768	6	940	2066	10	15051
v3	Km de red (capital físico)	768	6	3221	8692	19	68226
v5	Insumos químicos	768	6	620	1412	3	15573
v6	Densidad de clientes (clientes/km de red)	768	6	93	60	18	1484
v7	Número de municipios atendidos	768	6	24	78	1	600
v8	Proporción de usuarios medidos	768	6	0.94	0.16	0.00	1.00
v9	Proporción de agua perdida	768	6	0.39	0.13	0.08	0.79
v10	Proporción de clientes de saneamiento sobre clientes de agua	768	6	0.69	0.34	0.00	1.16
v11	Proporción de clientes residenciales sobre no residenciales	768	6	0.92	0.04	0.55	1.00
v12	Proporción de agua tratada sobre agua producida	768	6	0.80	0.30	0.00	1.00
v13	Proporción de aguas residuales tratadas sobre aguas residuales recolectadas	768	6	0.07	0.27	0.00	1.00

Fuente: Elaboración propia a partir de la base SNIS.

Vale la pena explicitar las hipótesis sobre las variables de contexto que fueron testeadas en las estimaciones.

La densidad de clientes v6 hace referencia a la dispersión con que se presta el servicio. A priori se espera que si la población está más dispersa con relación a la red será necesario un mayor uso de energía, todo lo demás constante, es decir que se anticipa un signo positivo si la variable resultara significativa. El promedio de densidad de clientes es 93, con un desvío estándar de 60. La correlación entre v6 y v1 es positiva, pero baja (0.1149). Es una variable que está en principio fuera de control de las empresas.

Los municipios atendidos v7, es otra alternativa para intentar capturar la dispersión de los clientes en el espacio geográfico, dado que en el caso de Brasil las municipalidades abarcan tanto áreas urbanas compactas como zonas rurales poco pobladas. La presunción es que más municipios atendidos implicarían más consumo de energía, todo lo demás constante. El promedio es de 24 municipios, con un desvío estándar de 78, pero hay empresas que atienden un solo municipio y un caso donde un prestador abarca hasta 600. La correlación entre v7 y v1 es positiva y alta (0.7754).

La medición de consumos, cuya proporción recoge la variable v8, genera incentivos para el uso responsable del agua y la reparación de artefactos o cañerías dañadas que den lugar a fugas. Más medición implicaría no solamente menor consumo sino también mayor presión en el sistema y mejor aprovechamiento de la energía de bombeo. En promedio, un 94% de los usuarios de la muestra están medidos, con un desvío estándar de 16%. Pero hay

empresas que no miden consumos y otras que tienen medición universal. La correlación entre v8 y v1 es negativa, pero baja (-0.1684).

Las pérdidas y derroches restan presión al sistema, requiriéndose más energía para mantener sus niveles. El agua perdida tiene un componente energético innecesario de no producirse esos metros cúbicos. Los niveles de pérdidas en países en desarrollo suelen ser muy elevados (con promedios de entre el 40 al 50% de la producción), Brasil no escapa a dichos registros, siendo el promedio de la muestra del 39%, con un mínimo de 8% y un máximo del 79%. La correlación entre v9 y v1 es positiva, pero débil (0.0924). El control de pérdidas demanda importantes inversiones, por lo cual se la puede considera una variable de contexto, indicativa además del estado general de la red.

No todas las empresas de la muestra proveen alcantarillado sanitario o saneamiento, algunas sólo ofrecen el servicio de agua. La proporción de clientes de alcantarillado respecto de clientes de agua promedia en la muestra un 69%. Algunos prestadores ofrecen servicios de alcantarillado a otros linderos, por lo cual hay observaciones que tienen más clientes de alcantarillado que de agua. La correlación entre v10 y v1 es negativa (-0.2578).

La proporción de clientes residenciales sobre no residenciales es otro posible indicador de dispersión: la presunción es que los primeros son más y consumen menos en promedio. La media de esta variable para la muestra es de 0.92 con 0.04 de dispersión. Tan escaso desvío estándar tal vez sea la explicación de la baja correlación negativa entre v11 y v1 (-0.0179).

La proporción de agua tratada sobre agua producida es una aproximación a la calidad de la fuente. El agua subterránea suele requerir menos tratamiento que el agua superficial, a veces alcanza con una simple desinfección. El promedio de la muestra es de 0.80, aunque hay empresas que no tratan nada de su agua cruda y otras que tratan el 100%. La correlación entre v12 y v1 es 0.0390.

Por último, la proporción de aguas residuales tratadas sobre aguas residuales recolectadas, es otro elemento que agrega consumo energético. En la muestra hay empresas que no tienen tratamiento mientras que algunas tienen tratamiento total; el promedio es muy bajo (de 0.07, con una dispersión de 0.27). La correlación entre v13 y v1 es de 0.1978. La variable v13 tiene características similares a la variable v9 (pérdidas). Es decir, que la empresa puede incrementar la proporción de aguas residuales con tratamiento, pero requiere para ello importantes inversiones, con lo cual se la puede considerar una variable de contexto.

En resumen, las variables de contexto se pueden agrupar en dos categorías: aquellas variables sobre las cuales la empresa puede ejercer control en el mediano y largo plazo mediante importantes inversiones; y aquellas que se encuentran fuera del control de los prestadores. Siguiendo esta clasificación las variables proporción de usuarios medidos (v8), proporción de agua perdida no contabilizada (v9), proporción de clientes de saneamiento respecto a los clientes de agua (v10) y proporción de aguas residuales tratadas sobre el total recolectado (v13) pueden ser modificadas mediante la implementación de programas específicos e inversiones destinadas a tal fin. Por el otro lado, las variables densidad de clientes (v6), municipios atendidos por cada prestador (v7), proporción de clientes residenciales sobre no residenciales (v11) y proporción de agua tratada sobre agua producida (v12) son exógenas a la empresa y al estar dadas no puede realizar acciones directas para modificarlas.

A los fines de la estimación, las variables de insumos fueron divididas por el numerario v5 (insumos químicos) de modo de cumplir las condiciones de homogeneidad reseñadas en la sección previa. Las variables en niveles fueron pasadas a logaritmos naturales en tanto se mantuvieron los diversos ratios que se usan como variables de contexto. Se adicionó una tendencia temporal T (y en el caso Translogarítmico, también su cuadrado).

5. Resultados

Se estimaron dos formas funcionales (Cobb-Douglas y Translogarítmica) en sus variantes TI y TVD (ver Tabla 2). Luego se aplicaron tests de verosimilitud para determinar cuál de éstas últimas versiones era mejor representación del fenómeno (Ver Tabla 4).

En la estimación Cobb-Douglas no resultaron significativas en ninguna de las variantes las variables v7 y v8, es decir, los municipios y la medición, tampoco lo fue la variable v13 de proporción de aguas residuales tratadas respecto de aguas residuales recolectadas. Se reestimaron las funciones excluyendo dichas variables y los resultados que se presentan no las incluyen. En éstos, el logaritmo de la variable dependiente (energía normalizada por químicos) resulta explicada por los logaritmos de trabajo y capital (normalizado por químicos), producción de agua y densidad de clientes. Las variables de contexto que resultan significativas son las pérdidas, la proporción de clientes de saneamiento sobre clientes de agua (no en el caso TI), la proporción de residenciales sobre no residenciales, y la proporción de agua tratada sobre agua producida. Los signos son positivos para las variables de insumos, productos, densidad y pérdidas, y negativos para los ratios de clientes de saneamiento sobre clientes de agua, residenciales sobre no residenciales y agua tratada sobre agua producida. La constante es significativa y la tendencia temporal solamente lo es para la versión TVD. Los valores absolutos de los coeficientes no varían demasiado entre ambas versiones. El parámetro γ implica que 93% de la variabilidad del término de error está explicado por la ineficiencia. El parámetro η es significativo al 99%.

Las estimaciones Translogarítmicas utilizaron las mismas variables, sumando las interacciones entre insumos y productos, y los términos cuadráticos de los mismos. Los valores absolutos y signos de los coeficientes que se repiten de la Cobb-Douglas se parecen bastante a éstos, en tanto las interacciones y términos cuadráticos no resultan significativos a excepción del cuadrado del producto en la versión TVD. Lo anterior está diciendo que dichas interacciones y términos cuadráticos no son significativamente distintas de cero, por lo que las estimaciones Cobb-Douglas son preferidas. El parámetro γ de las versiones Translog es ligeramente inferior a las versiones Cobb-Douglas. El parámetro η es significativo al 99%: está indicando, en el modelo CD-TVD, que el consumo de energía se está reduciendo en un 3,8% por período.

Tabla 2: Estimaciones

Variable dependiente: ln (v4/v5)								
Variables independientes	Coeficientes CD-TI	P>|z|	Coeficientes CD-TVD	p>|z|	Coeficientes TL-TI	p>|z|	Coeficientes TL-TVD	p>|z|
Ln (v2/v5)	0.1766***	0.000	0.1724***	0.000	0.1466*	0.073	0.1604**	0.045
Ln (v3/v5)	0.8255***	0.000	0.8285***	0.000	0.8361***	0.000	0.8281***	0.000
Ln v4	0.1389***	0.000	0.1359***	0.000	0.1332***	0.000	0.1298***	0.000
Ln v6	0.3673***	0.000	0.3429***	0.000	0.3120***	0.000	0.3076***	0.000
v9	0.4527***	0.001	0.4174***	0.002	0.3627**	0.013	0.3307**	0.021
v10	-.1271	0.118	-.1458*	0.071	-.1046	0.230	-.1337	0.117
v11	-.7087**	0.045	-.6869**	0.050	-.7414**	0.038	-.7413**	0.037
v12	-.2853***	0.001	-.3045***	0.000	-.2581***	0.005	-.2874***	0.001
Ln (v2/v5)^2					0.0506	0.689	0.0207	0.867
Ln (v2/v5)(v3/v5)					-.1325	0.229	-.1187	0.279

Ln (v2/v5)(v4)					0.0864	0.261	0.0977	0.183
Ln $(v3/v5)^2$					0.0864	0.534	0.0140	0.930
Ln (v3/v5)(v4)					0.0213	0.859	0.7667	0.518
Ln $(v4)^2$					-.1421	0.203	-.1843*	0.083
T	0.0011	0.827	-.0211**	0.014	-.0030	0.908	-0.0313	0.254
T^2					0.0006	0.858	0.0012	0.740
Constante	0.9194***	0.010	1.0154***	0.004	1.0051***	0.005	1.1378***	0.002
Mu	-.5142	0.623	-.5859	0.582	-.1020	0.875	-.2524	0.729
Eta			0.0379***	0.001			0.0412***	0.001
lnsigma2	-.0395	0.948	-.1434	0.819	-.3101	0.530	-.3926	0.465
ilgtgamma	2.6817***	0.000	2.5900***	0.000	2.4056***	0.000	2.3310***	0.000
sigma2	0.9612		0.8663		0.7333		0.6752	
gamma	0.9359		0.9302		0.9172		0.9114	
Sigma_u2	0.8996		0.8058		0.6726		0.6154	
Sigma_v2	0.0615		0.0604		0.0606		0.0598	
Observaciones	768		768		768		768	
Prestadores	128		128		128		128	
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1								

Fuente: Elaboración propia

Realizadas las estimaciones, se procedió a comparar los cuatro modelos de manera de poder establecer cuál de ellos sería el más adecuado a los datos de la muestra. Para ello, se realizó un test de Razón de Verosimilitud (*Likelihood Ratio Test*), el cual compara la log verosimilitud de un modelo restringido con la del modelo sin restringir. Si las restricciones son válidas, éstas no deberían conducir a una gran reducción en la función de log verosimilitud. El test se basa sobre el cálculo de $-2[L_R - L_U]$ -donde L_R es la log verosimilitud del modelo restringido y L_U la del modelo sin restringir- el cual se distribuye como una chi-cuadrado con grados de libertad igual al número de restricciones. La hipótesis nula especifica al modelo restringido (TI, es decir que la eficiencia es invariante en el tiempo). Asimismo, se calcularon los criterios de información de Akaike y Bayesiano, como otro análisis para determinar cuál es el modelo más adecuado. Los índices de Akaike y Bayesiano son criterios de información para medir el grado de ajuste del modelo a los datos, utilizados para seleccionar entre alternativas. Ambos criterios penalizan por pérdida de grados de libertad (o incremento en el número de parámetros a estimar). El mejor modelo será aquel con menor valor de criterio.

Entre las Cobb-Douglas, la versión TVD es la preferible: la mayor log verosimilitud y los menores criterios de información mostraron que dicha versión es la más apropiada para la muestra. Comparando las Translogarítmicas, la situación se repite. Y en la comparación entre las versiones Cobb-Douglas y Translogarítmicas se prefieren las primeras. En la Tabla 3 se presentan los valores de los test y de los criterios de información de cada comparación. La Cobb-Douglas TVD es el modelo elegido.

Tabla 3: Tests de verosimilitud y criterios de información sobre variantes de formas funcionales alternativas.

Razón de verosimilitud	Modelo	Log Likelihood	Grados de libertad	Criterio de información de Akaike	Criterio de información Bayesiano

LR chi2(1)=11.27	CD TI	-203.3415	13	432.6829	493.0522
Prob > chi2=0.0008	CD TVD	-197.7058	14	423.4116	488.4247
Supuesto: CD TI anidado en CD TVD					
LR chi2(1)=11.72	TL TI	-199.5417	20	439.0833	531.9591
Prob > chi2=0.0006	TL TVD	-193.6815	21	429.363	526.8826
Supuesto: TL TI anidado en TL TVD					
LR chi2(1)=7.60	CD TI	-203.3415	13	432.6829	493.0522
Prob > chi2=0.3692	TL TI	-199.5417	20	439.0833	531.9591
Supuesto: CD TI anidado en CD TVD					
LR chi2(1)=8.05	CD TVD	-197.7058	14	423.4116	488.4247
Prob > chi2=0.3283	TL TVD	-193.6815	21	429.363	526.8826
Supuesto: TL TI anidado en TL TVD					

Fuente: Elaboración propia

Resumiendo las implicaciones de los resultados, en las Tablas 4 y 5 se presentan respectivamente las estadísticas descriptivas de las medidas de eficiencia generadas en cada modelo. Más allá de que el modelo CD TVD es el preferido, los resultados se parecen mucho en las cuatro variantes y la correlación entre las diferentes medidas de eficiencia es muy elevada. También se ha incluido en las comparaciones la razón de intensidad energética kwh/m3, que como es de esperar tiene correlación positiva, pero moderada con los modelos de frontera, dadas las limitaciones del primer indicador.

Tabla 4: Estadística descriptiva de las diferentes medidas de eficiencia

Nivel de eficiencia	Observaciones	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo
EF CD TVD	768	0.6275	0.2148	0.0144	1
EF CD TI	768	0.6269	0.2137	0.0220	1
EF TL TVD	768	0.6233	0.2110	0.0145	1
EF TL TI	768	0.6142	0.2099	0.0221	1
Ratio kwh/m3	768	0.7567	0.3972	0.0046	3.09

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Correlación entre las diferentes medidas de eficiencia

	EF CD TVD	EF CD TI	EF TL TVD	EF TL TI	Ratio kwh/m3
EF CD TVD	1.0000				
EF CD TI	0.9953	1.0000			
EF TL TVD	0.9809	0.9741	1.0000		
EF TL TI	0.9862	0.9897	0.9913	1.0000	
Ratio kwh/m3	0.4413	0.4398	0.5628	0.5211	1.0000

Fuente: Elaboración propia

En términos de intensidad energética, el modelo CD TVD predice que en promedio aquella tiene un potencial de reducción de máxima de 37,25%, la distancia entre la mejor práctica y el promedio (1 - 62,75%). Es decir, que de 39.386.112 miles de kwh anuales (768 * 51.284) se podrían ahorrar 12.898.951 miles de kwh anuales.

Dichos resultados, no obstante, son de máxima y solo tienen sentido como ejercicio intelectual para el potencial caso en que todas las empresas replicaran las mejores prácticas de la muestra, dadas sus limitaciones estructurales. Sin embargo, tiene mayor interés utilizar el modelo para simular los resultados esperables de mejoras que pudieran generarse en determinadas variables que tienen incidencia en la intensidad energética.

En particular, se proponen los siguientes ejercicios: 1) un plan de control de pérdidas que reduzca las iniciales en un 10%, 2) un plan de control de pérdidas que reduzca las iniciales en un 20%, 3) una reducción de la brecha entre clientes de saneamiento y de agua del 10% (suba del ratio inicial en 10%), 4) una reducción de la brecha entre clientes de saneamiento y de agua del 20% (suba del ratio inicial en 10%). De las variables de contexto significativas en la estimación, hay dos sobre las cuales los prestadores tienen (alguna) posibilidad de incidir, aunque implican en ambos casos importantes inversiones. La Tabla 6 sintetiza los resultados a partir de utilizar las elasticidades estimadas en el modelo. Ahorros del 4.2% y del 1.45% serían alcanzables con los dos programas de alcance más modesto. Los valores se duplican en los casos más ambiciosos.

Tabla 6: Ejercicios de reducción de consumo eléctrico a partir de acciones concretas en variables sobre las cuales los prestadores pueden ejercer control

	Caso base	Caso 1: reducción del 10% de las pérdidas de agua	Caso 2: reducción del 20% de las pérdidas de agua	Caso 3: aumento de un 10% de la proporción de usuarios cubiertos con saneamiento respecto de agua	Caso 4: aumento de un 20% de la proporción de usuarios cubiertos con saneamiento respecto de agua
Consumo inicial de energía	39.386.112	39.386.112	39.386.112	39.386.112	39.386.112
Ahorro de energía en términos absolutos		1.643.986	3.287.953	574,259	1.148.499
Ahorro de energía en términos relativos.		-4,17%	-8,34%	-1,45%	-2,91%
Energía consumida tras medida	39.386.112	37.742.136	36.098.159	38.811.862	38.237.612

Fuente: Elaboración propia

6. Conclusiones

El primer objetivo de este trabajo es analizar con métodos de frontera (función de requerimiento de insumos) la eficiencia energética relativa de los prestadores de agua y saneamiento de Brasil. Se identificaron condiciones de contexto que configuran las diferencias de eficiencia energética entre prestadores.

Utilizando información proveniente del Sistema Nacional de Informaciones sobre Saneamiento de Brasil (SNIS) se estimó una función de requerimiento de insumos para un panel balanceado de 128 empresas. Tras probar diferentes especificaciones funcionales y considerando modelos con eficiencia constante o variable en el tiempo, se concluye que un modelo Cobb-Douglas con eficiencia variable en el tiempo es una adecuada representación del fenómeno en estudio. Se incluyeron en el mismo variables de contexto para discernir los efectos específicos que condicionan la eficiencia energética de las empresas, dada la producción que realizan y los insumos utilizados. Entre los factores de contexto que resultan significativos desde el punto de vista estadístico, están las pérdidas de agua y el ratio entre clientes servidos con saneamiento respecto de aquellos con agua, dos variables que sobre las cuales las empresas pueden ejercer control mediante importantes inversiones. En tanto, existen otras condiciones del entorno que se encuentran fuera del control de los prestadores entre las cuales se identificaron la densidad de clientes (clientes/km de red), la proporción de clientes residenciales sobre no residenciales y la proporción de agua tratada sobre agua producida que hace referencia al tipo y a la calidad de la fuente.

El segundo objetivo es estimar las reducciones de consumo energético factibles a partir de medidas que el sector puede implementar sobre las variables que ejerce algún grado de control. Se encontró una eficiencia promedio de la muestra del 63%, es decir que existiría una brecha de mejora de un poco más del 37% si todas las empresas convergieran a las mejores prácticas empíricas (no teóricas, sino logradas por las empresas más eficientes de la muestra). No obstante, es ilusorio pensar que dicha brecha de 12.898.951 miles de kwh anuales pudiera cerrarse. En su lugar, se prefirieron ensayar simulaciones de programas de mejora posibles de encarar por parte de los prestadores. Así, se simularon dos programas de controles de pérdida de agua en red (del 10% y del 20% del total perdido en toda la muestra) y aumentos de cobertura de saneamiento respecto de los habitantes servidos con agua (también del 10 y 20%). Con respecto a la primera variable, el modelo indica una elasticidad de aproximadamente 0,42, con 99% de significatividad, en tanto en la segunda variable tiene una elasticidad negativa de 1,45 con 90% de significatividad. Con el programa más conservador de reducción de pérdidas podrían ahorrarse 1.643.986 miles de kwh anuales, en tanto con la reducción de la brecha en saneamiento, también del 10% se conseguirían ahorros por 574.259 miles de kwh anuales.

Bibliografía

Battese, G.E. & T.J. Coelli (1992), "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India", *Journal of Productivity Analysis*, 3, 153-169.

Bhattacharyya, Subhas (2011), Energy Economics. Concepts, Issues, Markets and Governance, Springer-Verlag, Londres.

Bogetoft, P. (2012). Performance Benchmarking: Measuring and Managing Performance, Management for Professionals, DOI 10.1007/978-1-4614-6043-5 1. Springer Science+Business Media New York.

Campos, F.M. (2011). Economias de escala e ineficiência técnica: a importância da dimensão de operação das concessionárias estaduais de água e esgoto brasileiras (1998-2008). In: Anais do XXXVIII Encontro Nacional de Economia. Associação Nacional dos Centros de Pósgraduação em Economia (ANPEC).

Carmo, C. & J. B. Távora Júnior (2003). Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. Encontro Nacional de Economia, 31. Anais Anpec.

Carpio, C. & M. Coviello (2013). Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio. CEPAL-Cooperación Alemana, LC/W 562, Santiago.

Castro, C. E. T (2003). Avaliação da eficiência gerencial de empresas de água e esgotos brasileiras por meio da envoltória de dados (DEA). Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Coelli, T. & S. Perelman (2000). "Technical Efficiency of European Railways: A Distance Function Approach." *Applied Economics* 32: 1967–1976.

Coelli, T., D. Prasada Rao, C. O'Donnell & G. Battese (2005). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Second Edition. Springer.

Cohen, R.; B. Nelson & G. Wolff (2004). Energy Down the Drain. The Hidden Costs of California's Water Supply, National Resources Defense Council (NRDC), Pacific Institute, Oakland, California.

Denig-Chakroff, D. (2008). "Reducing electricity used for water production: Questions state commissions should ask regulated utilities" Water Research and Policy. National Regulatory Policy Institute.

De Santis, M. & D. Halabi (2011). Benchmarking no setor de saneamento de Brasil: aplicação de fronteiras estocásticas com dados de painel. Quantum, Novembro.

Estache, A., M. Rossi & C. Ruzzier (2004). The Case for International Coordination of Electricity Regulation: Evidence from the Measurement of Efficiency in South America. Journal of Regulatory Economics 25 (3), 271-295.

Faria, R.C., Souza, G.S., & T. B. Moreira (2005). Public versus private water utilities: empirical evidence for Brazilian companies. Economic Bulletin 8 (2), 1-7.

Ferro, G., E. J. Lentini, A. C. Mercadier & C. A. Romero (2014). Efficiency in Brazil's water and sanitation sector and its relationship with regional provision, property and the independence of operators. Utilities Policy 28, 42-51

GO Brazil Associados (2013). Manual for performance-based contracting by water utilities companies in Brazil. International Financial Corporation in partnership with Government of Spain through the "Fondo Español para Latinoamérica y el Caribe".

Grigolin, R. (2007). Setor de água e saneamento no Brasil: Regulamentação e Eficiência. Dissertação de Mestrado Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas.

Liu, F., A. Ouedraogo, S. Manghee & A. Danilenko (2012). A Primer on Energy Efficiency For Municipal Water and Wastewater Utilities. Technical Report 001/12. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). The World Bank Group.

Moreira, A. R. B. & T. C. R. Fonseca (2005). Comparando medidas de produtividade: DEA, fronteira de produção estocástica. Texto para discussão, n. 1.069. IPEA, Fevereiro.

Ohira, T. H (2005). Fronteira de eficiência em serviços de saneamento no Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Rosas Moya, R. (2011). La eficiencia energética en empresas de agua y saneamiento en países de América Latina y El Caribe. (Mejores prácticas y lecciones aprendidas). Banco Interamericano de Desarrollo Sector de Infraestructura y Medio Ambiente NOTA TÉCNICA Número 328.

Sabbioni, G. (2008). Efficiency in the Brazilian sanitation sector. Utilities Policy 16, 11-20.

Sanders, K. & M. Webber (2012). Evaluating the Energy Consumed for Water Use in the United States. Environmental Research Letters, volumen 7, número 3, IOP Publishing.

Silva Vieira, A. (2012). Uso racional de água em habitações de interesse social como estratégia para a conservação de energia em Florianópolis, Santa Catarina. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Seroa Da Mota, R. & A. Moreira (2006). Efficiency and regulation in the sanitation sector in Brasil. Utilities Policy 14, 185-195.

Souza, G.S., Faria, R.C. & T. B. Moreira (2008). Efficiency of Brazilian public and private water utilities. vol. 38 (4). Estudos Econômicos, Sâo Paulo, 905-917.

Tupper, H. & M. Resende (2004). Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewerage sector: an empirical study. Utilities Policy 12, 29-40.

Apéndice: Iniciativas recientes sobre eficiencia energética en Brasil

Tabla A1: Estado de la temática de eficiencia energética en Brasil

Avances recientes en el marco político, normativo e institucional	Actores-clave	Recursos y financiamiento	Resultados	Barreras	Lecciones aprendidas
1) Tarifas actualizadas en términos reales incentivas inversiones en ahorro energético. 2) Red de laboratorios de medición y control de calidad. 3) Plan Nacional de Eficiencia Energética: inclusión de la eficiencia energética en la planificación del sector energético, de acuerdo con la Matriz Energética Nacional, el Plan Nacional de Energía y el Plan de Electricidad a diez años; diseño e implementación de proyectos por parte de las empresas de distribución de energía eléctrica; establecimiento de una estructura operativa capaz de gestionar las aplicación de esta política 4) Requisito de establecer campañas de monitoreo y verificación de los resultados de los proyectos y programas de eficiencia energética.	1) Ministerio de Minas y Energía. Posee competencias para formular políticas energéticas. 2) Departamento de Desarrollo Energético: área operacional a cargo de llevar a cabo las acciones. 3) Agencia Nacional de Energía Eléctrica: de regulación y supervición para el sector eléctrico. Responsable de la gestión del Programa de Eficiencia Energética. 4) Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles: regula y supervisa el sector energético. 5) Programa Nacional para la Conservación de la Energía Eléctrica, 6) Programa Nacional para el Uso Racional del Petróleo y Gas Natural 7) Programa Brasileño de Etiquetado: para proporcionar a los consumidores información sobre el consumo energético de equipos y productos. 8) Asociación Brasileña de Empresas de Servicios Energéticos: representa a empresas y promueve actividades y proyectos para el crecimiento del mercado energético.	1) Fondos presupuestarios de Petrobras y Eletrobras más recursos de fondos internacionales. 2) Reserva Global de Reversión - RGR para el desarrollo de proyectos con fuentes alternativas de energía 3) Fondos sectoriales: creados para financiar proyectos de investigación, desarrollo e innovación. 4) Banco de Desarrollo Económico y Social de Brasil: busca estimular la industria e infraestructura en el país. 5) PROESCO: programa destinado a financiar proyectos de eficiencia energética.	1) Programas sobre Eficiencia Energética del Plan Pluri-Anual 2012-2015: a) Programa 2022: estimular medidas de eficiencia energética en el uso de derivados del petróleo, gas natural y biocombustibles que contribuyan al uso racional de estos insumos. b) Programa 2033: estimular medidas de eficiencia energética que contribuyan a la optimización de la transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica.	1) Dificultades para el desarrollo de empresas de servicios energéticos ESEs: 2) También se observan enormes dificultades para trabajar en el sector público mediante contratos por resultados, el gasto de energía está vinculado al gasto corriente	Aumentar los resultados de los programas de eficiencia energética depende de la consolidación de estrategias operativas. El gran desafío del momento es hacer sostenibles las actividades de eficiencia energética. Actualmente, hay muy pocos proyectos directamente especificados como eficiencia energética. El gobierno ha otorgado reducciones de impuestos para productos eficientes como resultado de acciones para aumentar las ventas de la industria en tiempos de crisis.

Fuente: Carpio & Coviello (2013)