

**Fronteras de eficiencia y cambio  
tecnológico  
en las empresas proveedoras de agua en  
Perú**

**Roberto Urrunaga**

**Oscar Jara**

Centro de Investigación

Universidad del Pacífico

## **Resumen**

En este documento se analiza mediante el análisis de fronteras de eficiencia y el análisis de la envolvente de datos (DEA) la eficiencia de las firmas del sector de agua y saneamiento en Perú para el periodo 1996-2010. Los principales hallazgos indican que las firmas han tenido un nivel insuficiente de inversiones y han respondido de manera tardía a los requerimientos de la demanda. Esto ha llevado a que las firmas no se encuentren operando en el tamaño de planta óptimo y que, más aun, tiendan a desaprovechar la capacidad instalada en el tiempo. A pesar de los avances en la forma del manejo de la firma, la calidad del servicio provisto es aun escasa y, además, se prueba que esta afecta al nivel de eficiencia de la firma y no a la estructura de costos directamente.

## **Abstract**

Efficiency of Peruvian water companies during 1996-2010 is analyzed using both Stochastic Frontier Analysis and Data Envelopment Analysis. The main findings suggest that Peruvian firms have shown reduced investments, and have followed the demand only with lags. The result has been the firms operating at a suboptimal level, and wasting the facility. Although there have occurred improvements in the way the firms are managed, the output quality is still inadequate. This poor quality of the services provided has affected the firm efficiency, and has not influenced the cost structure in a direct way.

*Palabras clave:* análisis de eficiencia; fronteras de eficiencia; análisis de envolvente de datos; costos, tecnología y tamaño de planta; empresas de agua.

*Clasificación JEL:* C33, H54, L11, L95.

## 1.- Introducción

En 1998 el 50% de las firmas contaba con pérdidas financieras (Corton, 2003). Con el fin de generar un sistema de *benchmarking* regulatorio y de informar a la ciudadanía sobre el desempeño de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS)<sup>1</sup>, en 1999 la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) empezó a utilizar un sistema de indicadores de desempeño. Estos son usados para generar un índice referencial que califica el nivel de desempeño de las firmas, para luego ubicar a cada una dentro de uno de los tres *rankings* existentes. Cada uno de ellos se encuentra en función al tamaño de las firmas, admitiendo las clasificaciones “pequeña”, “mediana” y “grande” como posibles tamaños de firma<sup>2</sup>. Los indicadores de desempeño cubren los siguientes aspectos<sup>3,4</sup>:

- i. Calidad: tratamiento de aguas servidas, índice de satisfacción al cliente y densidad de atención de reclamos.
- ii. Cobertura: cobertura de agua y alcantarillado.
- iii. Gestión empresarial: agua no facturada, relación de trabajo, transparencia en la gestión, desempeño global del estudio tarifario, costo de la energía eléctrica por volumen producido, índice de clima laboral y micromedición.

Esta primera aproximación a una clasificación de eficiencia en el sector no está exenta de discusión, como toda medida de eficiencia. El sistema planteado por SUNASS genera 3 *rankings*, lo cual impide las comparaciones entre firmas de distinto tamaño. La razón detrás de esta medida es la falta de variables que controlen por el ambiente operativo de la firma que permitan obtener un único *ranking* de todas las firmas. En segunda instancia, solamente el tamaño de la firma no puede ser tomado como un indicador que haga comparables a una firma con las demás de su mismo tamaño, ya que existen otras variables, como el volumen facturado por conexión, que las hacen equiparables. De ese modo, las comparaciones entre firmas al interior de cada uno de los 3 *rankings* no serían del todo adecuadas. Bajo estos comentarios,

---

<sup>1</sup> El objetivo del regulador de informar a la ciudadanía es que esta ejerza presión sobre las firmas.

<sup>2</sup> Si atienden a menos de 15 mil conexiones son consideradas como firmas de tamaño pequeño, si atienden de 15 mil a 40 mil conexiones son consideradas como medianas, y si atienden a más de 40 mil conexiones se definen como grandes. La única firma que atiende más de un millón de conexiones es Sedapal, que atiende la ciudad de Lima.

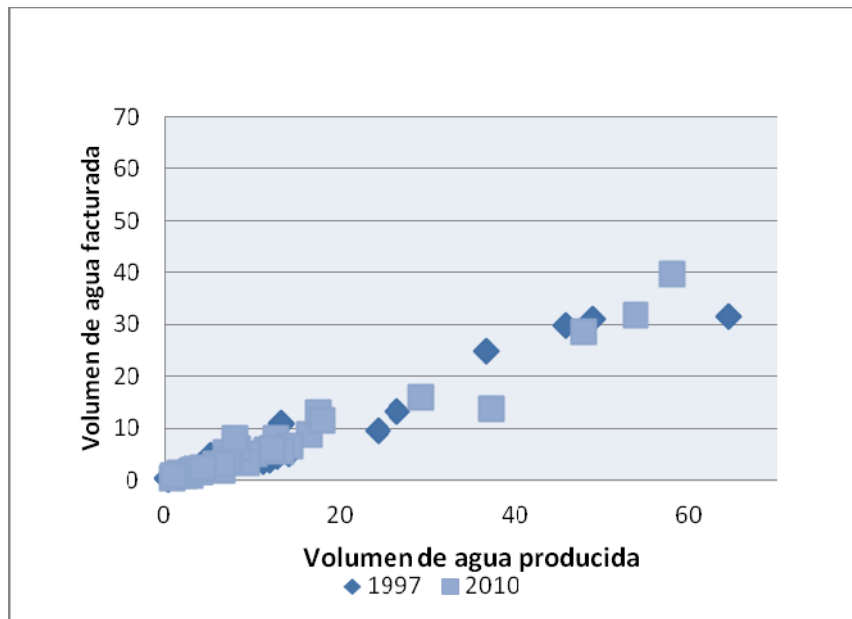
<sup>3</sup> Inicialmente se consideró también la capacidad de la firma en términos de si su manejo financiero era adecuado; sin embargo, en la actualidad ya no se toma en cuenta este componente.

<sup>4</sup> Se debe notar que variables como el nivel de cloro residual, la continuidad del servicio o el porcentaje de conexiones activas no son incluidas por SUNASS. Este hecho es uno de los que motivó la inclusión de estas variables en el estudio.

resulta interesante evaluar si las medidas usadas logran generar los incentivos suficientes en las firmas para que estas mejoren su desempeño<sup>5</sup>.

Uno de los principales inconvenientes en el sector de agua y saneamiento en Perú es la pérdida de ingresos por los volúmenes de agua producidos y no facturados. El Gráfico 1 muestra como a medida que aumenta la producción de agua, disminuye el ratio entre volumen facturado y volumen producido en millones de metros cúbicos, tanto para el año inicial de estudio como para el año final. Esta relación se ha mantenido casi constante en ambos años; la dispersión en la distribución de los datos apenas ha mejorado para el año 2010 con respecto a la de 1997. La presencia de conexiones ilegales y la falta de medidores del nivel de consumo de agua generan importantes volúmenes de agua no facturados para las firmas. Como los ingresos de las firmas provienen de los volúmenes de agua efectivamente facturados, la no facturación de volúmenes significativos reprime mayores montos de inversión en redes de distribución y desagüe, dificultando el avance de la cobertura del servicio. A pesar de los años transcurridos el fenómeno se ha mantenido constante, evidenciando la poca eficacia del esquema planteado por el regulador.

**Gráfico 1**  
**Volumen de agua facturada y agua producida**



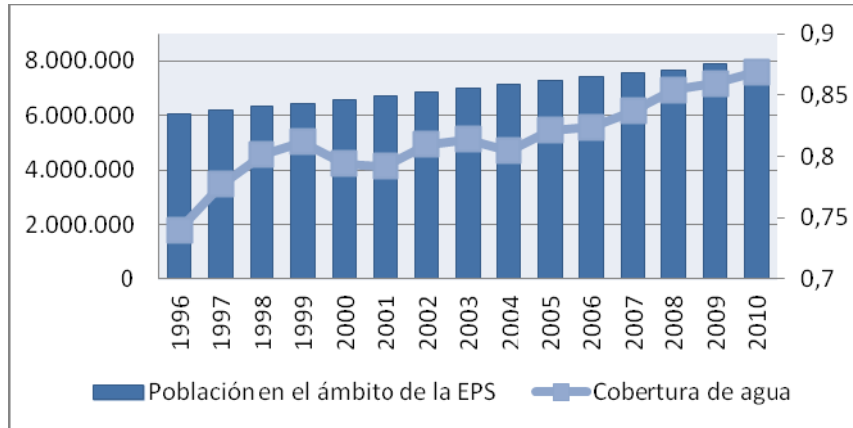
Fuente: SUNASS/ Elaboración propia.

En el Gráfico 2 se muestra un rápido ascenso de la cobertura de agua durante el período 1996-1999, luego de lo cual el avance se desaceleró hasta 2006 para luego continuar con el ascenso, aunque sin recuperar el ritmo inicial. En este caso se aprecia como las EPS

<sup>5</sup> Debe acotarse que si bien se analiza en los párrafos siguientes esta afirmación, no se establece relación alguna de causalidad entre ambos modelos, aun siendo este fenómeno una variación exógena a las firmas.

han mantenido un nivel de crecimiento en la cobertura a pesar de no haber disminuido el nivel de pérdidas por no facturación, según el Gráfico 1.

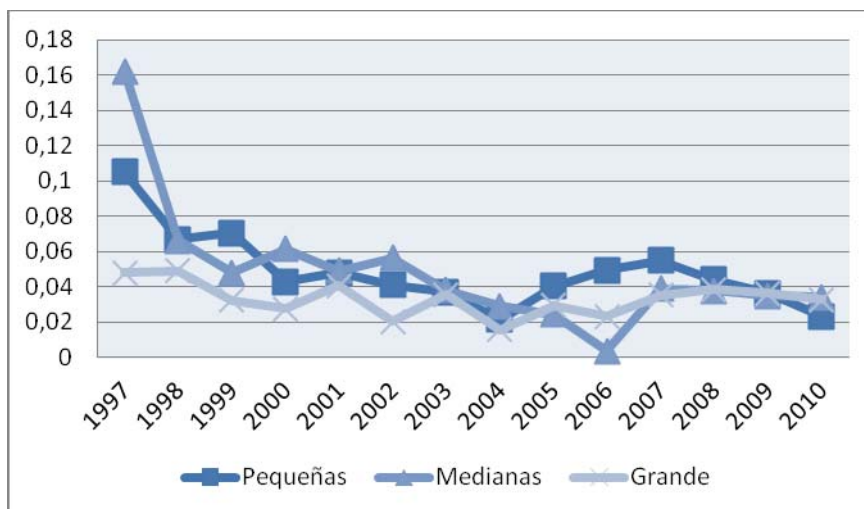
**Gráfico 2**  
**Cobertura de agua potable y población**



Fuente: SUNASS/ Elaboración propia.

Es conveniente observar el panorama a nivel de tamaños de EPS. En el Gráfico 3 se muestra la evolución de las variaciones anuales en el número de conexiones de agua potable promedio del sector, de acuerdo a la clasificación de firmas hecha por SUNASS. Las EPS “medianas” y “pequeñas” han tenido una evolución volátil a lo largo del tiempo; todo lo contrario a las “grandes”, las cuales han tenido una evolución más estable. Las dos primeras han tendido a estabilizar sus tasas de crecimiento de conexiones. Se nota en el gráfico como las tasas para los tres grupos tienden a aproximarse a un valor alrededor de 3%. A pesar de todo, como se verá más adelante, esta tasa de crecimiento a la que están convergiendo las firmas es insuficiente para cubrir la creciente cobertura del servicio en el sector.

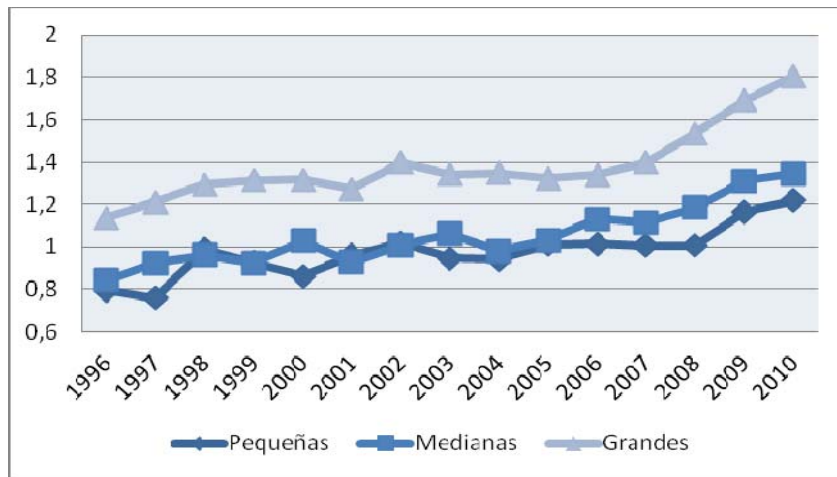
**Gráfico 3**  
**Variación de conexiones según tamaño de EPS**



Fuente: SUNASS/ Elaboración propia.

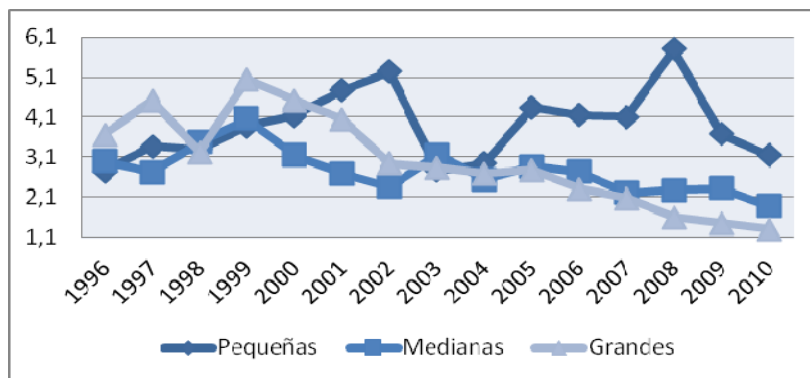
En los Gráficos 4 y 5 se muestran las evoluciones del volumen facturado y de la morosidad, ambos por tamaño de EPS. Mientras que los ingresos por volumen facturado han tenido una tendencia al alza en todos los grupos, la morosidad se ha comportado más de acuerdo con el tamaño de las EPS. Las EPS “grandes” tuvieron una tendencia decreciente en la morosidad, terminando en apenas más de un mes en 2010. Las “medianas” también mostraron una tendencia a la reducción en la morosidad, aunque acabaron en 2.1 meses. Caso distinto ocurrió con las EPS “pequeñas”, las que incluso aumentaron su morosidad desde 2.7 meses en 1996 hasta 3.1 en 2010, aunque mejoraron respecto al máximo de casi 6 meses en 2008. El riesgo frente a una alta morosidad es que afecta la capacidad de la firma de poder atender sus compromisos financieros y, con ello, su perfil ante las entidades crediticias.

**Gráfico 4**  
**Ingreso por volumen facturado de agua según tamaño de EPS**  
 (Nuevos Soles de 1994)



Fuente: SUNASS/ Elaboración propia.

**Gráfico 5**  
**Morosidad según tamaño de EPS**  
 (En meses)



Fuente: SUNASS/ Elaboración propia.

A continuación se presentan algunos indicadores del sector, tanto para el promedio de todas las EPS consideradas para algunos años del periodo evaluado (Tabla 1), como para el promedio del periodo evaluado según tamaño de EPS (Tabla 2).

Variable	Unidad	1996	2003	2010
Volumen Facturado	Mm de m3	6.48	6.27	7.88
Vol. agua facturada/Vol. Agua producida	%	56.63%	51.25%	55.96%
Red de distribución	km	239.86	307.36	325.23
Red de alcantarillado	Km	195.54	252.32	425.49
Número de trabajadores	N	130.21	136.05	147.61
Precio de la mano de obra	Soles al año	16224.15	20143.60	28979.60
Precio del capital	Soles al año	80.22	61.32	95.56
Población del área atendida	Miles	164.19	188.72	215.63
Población servida de agua	Miles	128.44	167.17	187.37
Población servida de alcantarillado	Miles	105.34	142.02	161.31
Conexiones activas	Miles	11.64	18.61	24.31
Cobertura de agua	%	70.48%	82.65%	85.29%
Cobertura de alcantarillado	%	53.73%	66.92%	72.61%
Continuidad del servicio	Horas	14.70	16.14	14.79
Estructura de mercado (Conex. Dom/ Conex. Tot)	%	80.24%	81.26%	92.40%
Volumen Facturado	Mm de m3	2.78	2.33	1.50
Vol. agua facturada/Vol. Agua producida	%	170.7	113.379	123.22

Fuente: SUNASS/ Elaboración propia.

Variable	Unidad	Pequeñas	Medianas	Grandes
Volumen Facturado	Mm de m3	1.37	4.44	18.67
Vol. agua facturada/Vol. Agua producida	%	55.50%	50.93%	59.25%
Red de distribución	km	627.78	1086.31	7154.26
Red de alcantarillado	Km	613.67	892.42	8852.08
Número de trabajadores	N	32	97	352
Precio de la mano de obra	Soles al año	105.56	119.51	105.61
Precio del capital	Soles al año	17616.68	24454.33	30981.24
Población del área atendida	Miles	35.04	119.90	537.09
Población servida de agua	Miles	28.66	94.11	447.68
Población servida de alcantarillado	Miles	22.73	75.22	393.67
Conexiones activas	Miles	3.98	10.25	44.10
Cobertura de agua	%	80.39%	80.14%	82.54%
Cobertura de alcantarillado	%	66.56%	67.62%	69.74%
Continuidad del servicio	Horas	16.420	15.186	13.637
Estructura de mercado (Conex. Dom/ Conex. Tot)	%	79.68%	84.50%	86.21%
Densidad de roturas en las redes de distribución	Rotu/Km	2.23	2.46	1.23
Quejas por cada mil conexiones	N	131.26	129.01	126.70

Fuente: SUNASS/ Elaboración propia.

En las tablas anteriores se muestran algunas variables de calidad del servicio, como continuidad y quejas. La inclusión de las mismas es fundamental en cualquier medida de eficiencia, ya que las firmas podrían reducir costos disminuyendo la calidad del servicio. La omisión de criterios de calidad en las medidas de eficiencia podría degenerar en la creación de incentivos perversos por parte de las firmas. El ente regulador peruano, SUNASS, consideró tal posibilidad, motivo por el cual incluye criterios de calidad en el *ranking* que genera todos los años. Coelli, Perelman y Romano (1999) y Lin (2005) señalan la relevancia de las variables de calidad en cualquier estudio de eficiencia. Como se verá más adelante, es necesario considerar si estas variables afectan a la eficiencia técnica o la tecnología de la firma.

Resulta importante la medición de la eficiencia o ineficiencia con la cual operan las firmas. Los enfoques econométrico y de optimización matemática presentan alternativas interesantes para la realización del objetivo propuesto, la estimación de un índice que cuantifique la eficiencia o ineficiencia de las firmas (Coelli, Rao, O'Donnell y Battese, 2005; Färe y Grosskopf, 1990). Lo verdaderamente atractivo de los estudios sobre ineficiencia de las últimas décadas es que han tratado de dar cuenta de variables que están más allá del control de las firmas o que no son observables, pero que se encuentran en los ambientes operativos



específicos a las mismas (Coelli, Perelman y Romano, 1999). Estos comentarios pasan de ser simples notas a los estudios de eficiencia, ya que introducen heterogeneidad que debe ser controlada para la obtención de indicadores que sean no solo representativos de las firmas, sino que sean comparables entre ellas.

La introducción de controles en las estimaciones de ineficiencia ayuda no solo a tener en consideración a las variables del ambiente operativo, sino también a las variables de calidad del servicio. La omisión de estas últimas generaría un sesgo negativo en los índices de ineficiencia. La transcendencia de las variables de calidad y de las variables que están fuera del control de la firma aumenta para el caso de los países en desarrollo. La dispersión de las ciudades y las marcadas diferencias existentes entre las mismas, producto de las brechas sociales y económicas, llevan a que las características de las tecnologías con las que cada firma enfrenta a la demanda sean heterogéneas.

Para el caso del sector de agua en Perú, la heterogeneidad en los ambientes operativos de las firmas es un factor condicionante de la ineficiencia. Debido a las grandes disparidades de la geografía peruana, cada firma opera en un contexto diferente. Por un lado, se tiene a las firmas de la costa que se encargan de atender a las ciudades con mayor dinamismo económico del país; mientras que por el otro, se cuenta con firmas en la sierra o selva del país, que se ocupan de un reducido número de habitantes durante un, también reducido, número de horas al día.

Los objetivos principales de este documento son dos. En primer lugar, se persigue estimar un índice de ineficiencia de costos de las firmas que proveen los servicios de agua y desagüe en Perú, que se encuentre libre de los efectos mencionados; a partir del cual se pueda establecer un *ranking* en el cual se ubique a las firmas de la muestra obtenida. El segundo objetivo es analizar los patrones de cambio de las tecnologías usadas en el sector. Debido a que los monopolios naturales dependen fundamentalmente de las tecnologías que utilizan, los resultados de este análisis son esenciales para la determinación de los requerimientos de capital de las empresas.

La organización del documento es como sigue. En la sección 1 se realiza una breve descripción de los principales estudios realizados. La sección 2 describe las metodologías a utilizar, así como la especificación de los modelos. La sección 3 analiza los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 4 se brindan las conclusiones y algunas recomendaciones de política.

## 2.- Revisión de la literatura

En esta sección se realiza una breve revisión de algunos de los estudios más relevantes hechos en los últimos años. La utilidad de esta sección radica en establecer pautas generales que puedan servir de guía para el lector sobre la dirección que han tomado los estudios de fronteras en las décadas recientes. Por otro lado, la recopilación de la literatura existente da luces sobre los enfoques previamente empleados para sustentar ciertos puntos de la investigación y dar valor agregado en otros.

Estache y Rossi (1999) usan una frontera de costos para la estimación de la ineficiencia técnica sobre un grupo de empresas del sector agua en los países de la región Asia-Pacífico, dentro de los cuales no se encuentra presente ningún país latinoamericano. Las estimaciones se realizan mediante métodos paramétricos y no paramétricos, mostrando además una serie de medidas de consistencia entre ambos indicadores. Destaca la importancia de la inclusión de variables que se encuentren en el ambiente operativo de las firmas, ajenas al control de las mismas, como la densidad poblacional. Es de los primeros estudios en resaltar como la heterogeneidad de las firmas afecta los incentivos de las mismas de acuerdo al esquema regulatorio empleado. En particular, proponen que los esquemas de precios máximos impuestos a las empresas no cubran sus costos actuales observados, sino los costos multiplicados por un índice de eficiencia que se encuentre entre cero y uno. Mientras que con un esquema de precios máximos estándar las firmas poseen de un período de tiempo determinado para reducir sus costos y obtener beneficios, mediante este nuevo esquema las firmas son obligadas a ser eficientes desde el principio.

Faria, da Silva e Souza y Moreira (2005) determinan una frontera de producción para las empresas de agua en Brasil. El trabajo se centra en determinar si la naturaleza de la propiedad de la firma explica la eficiencia de las firmas. El resultado hallado muestra que, de acuerdo al modelo usado, las firmas privadas fueron solo marginalmente más eficientes que las públicas, debido al leve aumento en la eficiencia de todo el sector en conjunto. Una primera limitación del estudio es que a pesar de exhibir estos resultados, la evidencia empírica reveló lo contrario, mostrando la poca capacidad explicativa del modelo. Como segunda limitación del estudio, la frontera de producción usada impidió el testeó de economías de alcance, escala y densidad de producto, debido a que estas son obtenidas a través de las funciones de costos.

Por otro lado, Kirkpatrick, Parker y Zhang (2006) utilizan una función de costos y un modelo no paramétrico orientado a la reducción de insumos para evaluar el impacto de la privatización de 110 firmas en África. Usan modelos con eficiencia técnica variante en el tiempo, toman como variable dependiente los costos operativos, el agua producida como variable de producto y los precios del trabajo y de distribución de agua como variables explicativas. El estudio no encuentra diferencias significativas de eficiencia entre las firmas públicas y privadas. En esa línea, señalan como posibles causas de este fenómeno a la

debilidad de la estructura regulatoria y la escasa provisión de tecnologías de los países en vías de desarrollo.

Erbetta y Cave (2006) estudian la importancia de los cambios en la política regulatoria sobre la eficiencia técnica, para el caso de Reino Unido. Emplean un modelo no paramétrico orientado a la reducción del uso de insumos, en el cual se tomó como productos al volumen total de agua producida, el número de conexiones de agua y desagüe y el volumen de pérdidas de la firma, y como insumos a los gastos en salarios, gastos de capital y otros gastos operativos. Concluyen que el cambio del esquema de tarifas de precios tope a uno de competencia por comparación, llevó a la reducción en los niveles de ineficiencia de las firmas; sin embargo, el efecto del *shock* del cambio en la forma de regulación se diluye en el tiempo, dejando visibles solo el cambio en el manejo de la firma.

Coelli y Walding (2005) también utilizan la metodología no paramétrica con orientación a la reducción de insumos, en un estudio global sobre las 18 principales firmas del sector de agua en Australia. Los productos utilizados son el número de conexiones y el volumen de agua producida, mientras que los insumos son los gastos operativos y el capital. Concluyen que la especificación del modelo a utilizar condiciona los resultados en los índices de eficiencia que surjan del modelo. Además, recomiendan el establecimiento de un sistema de recolección de información de las firmas, ya que estos, a su vez, condicionan los modelos que se puedan utilizar.

Sandford y Lin (2007) evalúan la eficiencia técnica de 44 firmas de Perú utilizando una función de producción. El volumen de agua facturada, el número de clientes, la cobertura de desagüe y la continuidad del servicio son usados como productos, mientras que los costos operativos, el número de empleados y las conexiones de agua como insumos. Con ellos se dedican a generar distintos índices de eficiencia de acuerdo a diferentes especificaciones para modelos paramétricos y no paramétricos. Muestran que diferentes especificaciones de los modelos evidencian ciertos aspectos de la firma mejor que otros. Al final dan sugerencias al regulador (la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS) sobre tomar índices que den mayor importancia precisamente al tema cualitativo, mediante la asignación de pesos diferenciados a los indicadores durante la elaboración del índice.

En esa misma línea, Lin (2005) muestra las repercusiones de la inclusión de variables de calidad del servicio en una función de costos al momento de calcular la ineficiencia técnica para 36 empresas de Perú. Concluye que las variables de calidad del servicio, como la continuidad o el porcentaje de muestras con niveles de cloro permitidos, influyen sobre la estructura de costos y no directamente sobre la ineficiencia. Corton (2003) realiza también estimaciones para el caso peruano de funciones de costos para 44 firmas usando un corte transversal. Controlando por región geográfica y número de distritos administrados por las firmas, determina que existen beneficios de ahorro en costos ante el aumento del número de distritos bajo cobertura de la firma.

Por otro lado, los efectos del tamaño de la firma sobre la eficiencia técnica son estudiados en Fraquelli y Moiso (2005) para 90 firmas italianas organizadas en ATOs<sup>6</sup>. Determinan que la integración vertical de los servicios de agua y saneamiento genera economías de escala, lo cual evidencia la necesidad de aumentar el tamaño de planta de las firmas para poder brindar ambos servicios. El modelo toma como variable dependiente a los costos operativos, como producto al volumen producido de agua y como insumos al número de trabajadores y al precio de la energía por metro cúbico.

Finalmente, una metodología menos usada es la de la forma funcional Mcfadden generalizada simétrica modificada, la cual es usada por Sauer y Fronberg (2007) para el caso de 47 firmas de Alemania. Las conclusiones presentadas van en dirección opuesta a las obtenidas por Fraquelli y Moiso (2005), la desintegración vertical mejoraría el desempeño del sector.

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones de los documentos referidos, así como otros estudios relevantes de los últimos años.

**Tabla 3**  
**Resumen de principales estudios**

Autor(es)	Fronte ra	Muestra	Especificación	Determinantes de ineficiencia
Estache y Rossi (1999)	SFA	Firmas de 25 países de la región Asia- Pacífico, 1995.	Dependiente: costos operativos. Producto: número de clientes. Insumos: número de conexiones. Controles: densidad poblacional, estructura de mercado, horas de disponibilidad de agua al día, tratamiento de agua mediante cloro o desalinización.	Propiedad.
Faria, da Sila e Souza y Moreira (2005)	SFA	135 firmas públicas y 18 privadas, Brasil, 2002.	Dependiente: volumen producido anual. Insumos: número de trabajadores y longitud de la red de distribución.	Propiedad, región de ubicación.
Kirkpatrick, Parker y Zhang	SFA - DEA	110 firmas, África,	Dependiente: costos de operación y mantenimiento. Producto: volumen de agua	Propiedad.

<sup>6</sup> Por sus siglas en italiano *Ambiti Territoriali Ottimali*, cuya traducción literal al español es "área territorial óptima".

(2006)		2000.	producida. Insumos: salarios y precio de materiales agua distribuida. Controles: número de tratamientos de agua.	
Filippini, Hrovatin y Zoric (2008)	SFA	52 firmas, Eslovenia, 1997-2003.	Dependiente: costos totales. Producto: volumen producido. Insumos: trabajo, capital y materiales. Controles: número de clientes, tamaño del área de servicio y tendencia temporal.	Pérdidas de agua, tratamientos químicos de agua, agua obtenida en la superficie y de subsuelo.
Erbetta y Cave (2006)	DEA	10 firmas, Reino Unido, 1993-2005.	Productos: volúmenes de agua potable y no potable producidos, número de conexiones de agua y desagüe totales y las pérdidas de agua. Insumos: gastos en salarios, capital y otros gastos.	Propiedad e incentivos.
Coelli y Walding (2005)	DEA	18 firmas, Australia, 1996-2003.	Productos: número de conexiones y volumen de agua producida. Insumos: gastos operativos y capital.	Cambio tecnológico y escala de la firma.
Sandford y Lin (2007)	DEA	44 firmas, Perú, 1998	Productos: volumen de agua facturada, número de empleados, cobertura de agua y continuidad del servicio. Insumos: costos operativos, número de empleados y conexiones de agua.	Incentivos y modos de regulación.
Lin (2005)	SFA	36 firmas, Perú, 1996-2003.	Dependiente: costos operativos. Producto: número de clientes Insumos: número de conexiones y número de empleados. Controles: volumen de agua facturada.	Nivel de cloro residual, continuidad del servicio, cobertura de agua y alcantarillado y pérdidas.

Estache y Kouassi (2002)	SFA - DEA	21 firmas, África, 1995 - 1997.	Dependiente: volumen producido. Insumos: <i>stock</i> de capital, horas de trabajo, materiales usados en la distribución. Controles: tendencia temporal y costos de energía.	Corrupción, gobernabilidad, propiedad.
Sabbioni (2005)	SFA	280 firmas, Brasil, 2002.	Dependiente: costos totales. Producto: volumen producido, clientes y número de conexiones. Insumos: salarios.	Consumo de los hogares, regiones y agua comprada a otras empresas.
da Silva Souza, Faria y Moreira (2007)	SFA	324 firmas públicas y 18 privadas, Brasil, 2002.	Dependiente: costos promedio. Producto: volumen producido. Insumos: capital y trabajo.	Volumen de agua tratados, región, propiedad y densidad poblacional.

Elaboración propia.

### 3.- Consideraciones metodológicas

El propósito general de este documento es el de determinar los factores que explican la ineficiencia técnica para poder dar recomendaciones de política. Para ello es necesario emplear metodologías que permitan: (i) dar cuenta de las variables que explican la ineficiencia técnica, y (ii) descomponer los resultados de acuerdo al cambio tecnológico. Los métodos usados en la estimación de medidas de eficiencia relativa<sup>7</sup> se basan en el trabajo inicial de Farrell (1957)<sup>8</sup>.

Existen dos enfoques bajo los que se trabaja la ineficiencia técnica: el econométrico y el de programación matemática. El primero de ellos es un enfoque paramétrico, debido a que trabaja con una variable dependiente " $y$ ", que se encuentra en función de una serie de variables explicativas  $y = f(x)$ , donde  $f(x)$  toma una forma funcional específica. Las especificaciones más conocidas para esta función son las de tipo translogarítmica y Cobb-

<sup>7</sup> Esto debido a que todos los cálculos se realizan respecto a las mejores prácticas observadas.

<sup>8</sup> Mediante herramientas de optimización matemática, Farrell definió a la eficiencia productiva como el producto de las eficiencias asignativa y técnica.

Douglas. A pesar que la elección de una u otra pueda parecer arbitraria, existen herramientas estadísticas como las pruebas de hipótesis que permiten comprobar si la elección de la forma funcional fue la correcta. Asimismo, este enfoque permite distinguir entre fronteras estocásticas (Aigner, Lovell y Schmidt, 1977) y determinísticas (Aigner y Chu, 1968), las cuales se diferencian por la presencia o ausencia de una perturbación aleatoria, respectivamente. Debido a lo anterior, se hace necesario elegir una distribución específica para el término de ineficiencia.

Por otro lado, la programación matemática es un enfoque no paramétrico, ya que no asume formas funcionales ni comportamientos específicos a las firmas, lo que imposibilita el uso de pruebas de hipótesis. El método más usado es el DEA (por sus siglas en inglés, *Data Envelopment Analysis*), en el cual las firmas con las mejores prácticas observadas definen una frontera de eficiencia. Es decir, no es posible realizar una reducción proporcional de todos los insumos de cualquiera de las firmas que componen la frontera de eficiencia. Por otro lado, al ser un método no estadístico, el DEA atribuye toda la perturbación aleatoria al término de ineficiencia. Finalmente, dos inconvenientes comunes a ambos métodos son la sensibilidad al número de variables usadas en el cálculo y la presencia de valores extremos.

El uso del enfoque econométrico requiere la elección de una función de producción o una de costos para la estimación de la frontera. A pesar que autores como Kumbhakar (1997) señalan a las funciones de costos como un resumen de la tecnología de la firma<sup>9</sup>, su aplicación presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, las funciones de costos utilizan variables en términos monetarios, las que están sujetas a inflación o a diferentes sistemas de precios relativos. Cuando se trabaja con firmas de zonas geográficas distintas, en las que los costos de oportunidad de los recursos difieren, es posible que los deflatores no reflejen la verdadera evolución de los precios. Las funciones de producción y el DEA orientado a insumos evitan este problema mediante el uso de variables con unidades de medida no monetarias, las cuales pueden ser transformadas mediante diferentes sistemas de medición. En segunda instancia, cuando se trata de evaluar empresas públicas<sup>10</sup>, el problema es que pueden no estar persiguiendo objetivos como maximizar beneficios o minimizar costos (Pardina, Rossi y Ruzzier, 1999). A diferencia de las funciones de costos, las funciones de producción y el enfoque no paramétrico no asumen ningún supuesto sobre la conducta de los agentes.

Si no se contara con los precios de todos los insumos se tendría que asumir eficiencia asignativa para todas las firmas, regresando al caso de las fronteras de producción, las cuales admiten tal supuesto. El problema con asumir eficiencia asignativa trabajando con una función de costos es que parte de los cambios en la eficiencia técnica vendrían dados por cambios en precios, no reflejando necesariamente una mejora o deterioro en el desempeño de la firma.

---

<sup>9</sup> El uso de funciones de costos hace posible la estimación tanto de la eficiencia técnica como de la eficiencia asignativa, a diferencia de las funciones de producción, las cuales solo permiten la estimación de la primera de ellas.

<sup>10</sup> En Perú, 48 de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) son manejadas por los gobiernos locales, 1 ha sido concesionada y una es de propiedad del gobierno central.

Debe resaltarse que, incluso si se cuenta con la información de precios y costos, esta información puede no ser confiable (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978).

A pesar de lo previamente mencionado y de que los precios obtenidos son solo aproximaciones a los que se observan en la realidad, se ha optado por trabajar con una frontera de costos, debido a la utilidad que esta presenta para la verificación de varias hipótesis que se realizarán a lo largo del documento. El asumir eficiencia asignativa completa, como hacen las funciones de producción, implica que la firma se encuentra operando con el tamaño óptimo de planta. Este es un supuesto no acorde a la estructura de un monopolio natural estricto, ya que por definición se encuentra operando en un nivel subóptimo.

### 3.1 Modelación paramétrica

La función de costos toma la siguiente forma:  $c_{it} = C(w_{it}, y_{it}) \xi_{it} \exp(v_{it})$ , donde “ $w_{it}$ ” es un vector que contiene los precios de los insumos, “ $y_{it}$ ” representa el producto y “ $v_{it}$ ” es una perturbación aleatoria. El término de ineficiencia técnica,  $\xi_{it} \in [1, \infty]$ , representa el grado en el cual los costos observados se alejan de los teóricos. A continuación se muestra la especificación de costos translogarítmica<sup>11</sup>:

$$\ln c_{it} = \beta_0 + \beta_\tau t + \ln y_{it} + \sum_{j=1}^N \beta_j \ln w_{i,jt} + \frac{1}{2} \sum_l \sum_j \beta_{lj} \ln w_{i,jt} \ln w_{i,lt} + v_{it} + u_{it} \quad (1)$$

Donde “ $t$ ” es una medida de tendencia temporal que explica el cambio tecnológico. Asimismo,  $u_{it} = \ln \xi_{it}$ , y junto con la perturbación “ $v_{it}$ ” forman el residuo compuesto de la regresión. Se asume que este último presenta una distribución normal  $N(0, \sigma_v^2)$  iid (independiente e idénticamente distribuida). Por su parte, “ $u_{it}$ ” se distribuye independiente de “ $v_{it}$ ”. El tipo de distribución del término de ineficiencia “ $u_{it}$ ” depende de los supuestos que se hagan sobre la inclusión de variables adicionales bajo el control de la firma a las ya mencionadas en el modelo. Éstas, siguiendo a Coelli, Perelman y Romano (1999), se pueden separar en dos enfoques:

<sup>11</sup> Las siguientes funciones de costos son tomadas de Coelli, Perelman y Romano (1999). Para un mayor detalle sobre los tipos de funciones de costos ver Varian (1998) o Coelli, Rao, O'Donnell y Battese (2005).



**i. Cuando afectan directamente a la estructura de costos de la firma:**

En este caso, las variables adicionales bajo el control de la firma influyen sobre la estructura de costos de manera directa, afectando toda la tecnología de la firma. Así la forma que toma la función a estimar se puede representar como:

$$\ln c_{it} = \beta_0 + \beta_\tau t + \ln y_{it} + \sum_{j=1}^N \beta_j \ln w_{i,jt} + \frac{1}{2} \sum_l^N \sum_j^N \beta_{lj} \ln w_{i,jt} \ln w_{i,lt} + \sum_{j=1}^K \delta_j \ln m_{i,jt} + v_{it} + u_{it} \quad (2)$$

Donde " $m_{it}$ " representa el vector de variables bajo el control de la firma. Distintas distribuciones han sido usadas para el término de error, como las planteadas por Aigner, Lovell y Schmidt (1977) o Battese y Coelli (1992), los cuales asumen distribuciones media-normal y normal trunca, respectivamente. En ambos casos se estima un coeficiente de eficiencia técnica que se permite que varíe en el tiempo<sup>12</sup>. Jondrow, Lovell, Materov y Schmidt (1982) asumen una distribución exponencial para la ineficiencia técnica. Mediante cualquiera de las distribuciones mencionadas se obtienen indicadores de eficiencia que se encuentran libres del efecto de otras variables bajo el control de la firma. El supuesto implícito detrás de esta forma es que las firmas están sujetas a distintas fronteras de costos. Kumbhakar, Ghosh y McGuckin (1991) señalan la imposibilidad de este enfoque para explicar la eficiencia técnica en una segunda etapa. Si se regresiona el coeficiente obtenido contra otras variables explicativas en una segunda etapa, se está suponiendo una distribución no idénticamente distribuida, contradiciendo los supuestos iniciales. Por otro lado, debe notarse que no se consideran efectos cruzados entre los regresores y las demás variables bajo el control de la firma en (2).

**ii. Cuando afectan directamente a la ineficiencia técnica:**

Como alternativa al problema de la regresión en dos etapas se sigue el modelo propuesto por Battese y Coelli (1995) que resuelve (1), con una distribución  $iid N(\mathbf{h}_{it}, \sigma_u^2)$  para el término de ineficiencia. Las " $k$ " variables explicativas de la ineficiencia técnica forman el vector fila " $\mathbf{h}_{it}$ ", las cuales intervienen en la estimación del término de error de manera simultánea a la regresión principal para obtener el vector de coeficientes " $\delta$ " estimado. Además, imponiendo la restricción  $v_{it} \geq \mathbf{h}_{it} \delta$ , la ineficiencia es siempre positiva. El supuesto

<sup>12</sup> Específicamente, son el resultado de multiplicar una función exponencial que depende del último periodo de análisis de la  $i$ -ésima firma ( $T_i$ ) y el periodo de análisis ( $t$ ), con una variable aleatoria específica a cada firma  $u_{it} = \exp\{\alpha(T_i - t)\} u_i$ .

implícito en este modelo es que todas las firmas comparten la misma frontera de costos, debido a que se supone enfrentan el mismo ambiente operativo.

A lo largo de este documento se tomará la postura de que las variables del ambiente operativo de la firma tienen influencia directa sobre la estructura de costos de la firma. Esto se justifica en que las firmas presentan ambientes operativos con marcadas diferencias (como operar en la costa o en las montañas). El análisis previo lleva a preguntarse si existen efectivamente variables bajo el control de la firma que influyan sobre la estructura de costos o sobre la eficiencia de la firma. A este respecto, Lin (2005) prueba que para las empresas del sector de agua en Perú durante el período 1996-2001, las variables de calidad del servicio afectaron a la función de costos y no a la eficiencia en sí misma.

Greene (2005) considera un modelo de datos de panel para las fronteras estocásticas con efectos fijos. De esta forma aísla los efectos invariantes en el tiempo mediante la introducción de una variable *dummy*, " $d_i$ ", la cual toma el valor de 1 para la firma  $i$  y cero en caso contrario. Lo beneficioso de esta metodología recae en que permite controlar por efectos observables e inobservables invariantes en el tiempo, ayudando a aliviar el problema de carencia de información sobre el sector. Las variables fuera del control de la firma, " $z_{it}$ ", harán que los coeficientes de ineficiencia técnica se encuentren netos de los efectos del ambiente operativo de las firmas. Bajo lo mencionado anteriormente, el modelo final queda de la siguiente forma:

$$\ln c_{it} = \beta_0 + \beta_\tau t + d_i + \ln y_{it} + \sum_{j=1}^N \beta_j \ln w_{i,jt} + \frac{1}{2} \sum_i^N \sum_j^N \beta_{ij} \ln w_{i,jt} \ln w_{i,lt} + \sum_{j=1}^K \delta_j \ln z_{i,jt} + v_{it} + u_{it} \quad (3)$$

### Especificación del modelo

De acuerdo con lo discutido en las secciones previas, la frontera elegida es una de costos con cambios en la tecnología no neutrales al tiempo, tal como lo especifica la ecuación (3). La variable dependiente está representada por los costos operativos<sup>13</sup>. Se trabaja con el número de empleados totales como factor trabajo y el número de conexiones como factor capital. Los precios de ambos insumos se estiman de acuerdo a la descripción presentada en la sección 2.3. Se espera que estas dos variables explicativas tengan un efecto positivo sobre la variable dependiente. La variable de producción es el volumen de agua producida por la

<sup>13</sup> Esta variable fue obtenida de los registros que las EPS envían a SUNASS, a la cual se le extrajo los conceptos de depreciación y provisión por cobranza dudosa.

firma. La ineficiencia tecnológica de acuerdo a Coelli, Rao, O'Donnell y Battese (2005) puede ser definida de la siguiente manera, en términos de la función de costos:

$$\xi_{it} = \frac{C_{it}}{C(y_{it}, y_{it}) \exp(u_{it})} = \exp(u_{it})$$

Donde  $u_{it} = \beta + e_{it}$ , de acuerdo a lo visto líneas arriba. El objetivo de esta regresión es poder explicar la ineficiencia técnica a través de las habilidades de la firma para manejar de manera óptima otros factores, además de los que intervienen de manera directa en la producción. La forma funcional asumida para  $u_{it}$  es la siguiente:

$$u_{it} = \delta_0 + \delta_1 \text{MICRO}_{it} + \delta_2 \text{CONT}_{it} + \delta_3 \text{COBA}_{it} + \delta_4 \text{PERDIDAS}_{it} + \delta_5 \text{CLORO}_{it} + \delta_6 \text{COBAL}_{it} + \delta_7 \text{CONN}_{it} + e_{it}$$

Donde MICRO representa el nivel de micromedición de la firma, definida como el porcentaje de conexiones con medidores respecto al total de conexiones de agua potable. Un mayor nivel de micromedición permite a las firmas contar con más recursos y actuar de manera más eficiente.

CONT da cuenta de la continuidad del servicio. Se espera que estas dos variables tengan un efecto negativo sobre la ineficiencia técnica, debido a que un aumento en cualquiera de estas permite un mejor aprovechamiento del capital de la firma. PERDIDAS es una aproximación al volumen de pérdidas por desperdicio y no facturación de la firma, calculada como el ratio entre el volumen de agua no facturada y volumen de agua producida. Un aumento de este ratio genera mayores costos para la firma, para un nivel de demanda dado, es decir, se espera que el signo de su coeficiente sea positivo.

COBA y COBAL representan la cobertura del servicio de agua potable y alcantarillado, respectivamente. El signo esperado de los coeficientes de ambas es negativo, debido a las economías a escala generadas por el uso intensivo de las redes de distribución. CONN es el cociente del número de conexiones activas entre el número de conexiones totales y es una medida que representa el grado de utilización del capital de la firma. Este ratio debería impactar de manera negativa a la ineficiencia por el mayor aprovechamiento del número de conexiones.

Finalmente, CLORO es una variable que indica el porcentaje de muestras de agua con un nivel de cloro residual mayor al 5%. La omisión de variables de calidad del servicio en cualquier índice de eficiencia podría generar incentivos perversos hacia la reducción de costos en base a la disminución de calidad. Por tal motivo, el signo esperado de esta última variable es positivo, debido a que un aumento de CLORO es considerado una disminución en la calidad del agua provista.

La inclusión de las variables MICRO, CONT, COBA, PERDIDAS y CLORO han sido ampliamente utilizadas en estudios previos como Lin (2005) para el caso peruano o Ferro y Romero (2009) para las firmas pertenecientes a ADERASA<sup>14</sup>. Este último estudio considera

<sup>14</sup> Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento en América Latina.

además a las variables COBAL y CONN. Otras variables que usualmente se usan en los estudios de fronteras de eficiencia son tratamiento de los volúmenes de agua residuales, presión del agua o porcentaje de agua extraída de la superficie o del subsuelo. Estas variables son usadas en Filippini, Hrovatin y Zoric (2008) y da Silva e Souza, Faria y Moreira (2007).

Sin embargo, para el caso peruano no se cuenta con información completa sobre estas variables. Los volúmenes extraídos y la presión del agua solo cuentan con registros de información desde 2008 en adelante. En el caso del tratamiento de aguas residuales, si bien las firmas reportan tal información desde 1996, existen largos períodos de tiempo para los cuales la ausencia de data es el común denominador.

De las variables usadas para la función de costos, además del producto y los precios de los insumos, se tiene a ESTRUC. Esta variable da cuenta de la estructura del mercado y se obtiene al dividir el número de conexiones domésticas entre las conexiones totales. Ha sido utilizada en estudios como Estache y Rossi (1999). Otra variable que suele utilizarse en lugar de estructura de mercado es la de densidad poblacional, como en Romero y Ferro (2008).

Debido a que para el caso peruano, tanto el número de conexiones domésticas como la población en el ámbito de la firma son estimadas, se prefirió usar la estructura de mercado por ser un indicador más preciso de la intensidad en el uso de agua.

### 3.2 Modelación no paramétrica

Bajo este enfoque, la frontera de eficiencia (una isocuanta de varias firmas) se encuentra determinada exclusivamente por las empresas que presentan las mejores prácticas observadas. El objetivo central del DEA es determinar en cuanto deben de ser reducidos proporcionalmente todos los insumos para que las firmas puedan ubicarse sobre la frontera de eficiencia<sup>15</sup>. Es decir, dado el conjunto de todos los vectores de insumos  $x^t$  del periodo  $t$  que pueden producir  $y^t$  de manera factible,  $L(y^t) = \{x^t: (x^t, y^t) \text{ es factible}\}$ , la función de distancia  $d_i^t(x^t, y^t) = \min\{\theta: \theta x^t \in L(y^t)\}$ , reduce el uso de todos los insumos tal que el nuevo vector,  $\theta x^t$ , se sitúe sobre la frontera de eficiencia del periodo,  $L(y^t)$ . La frontera puede presentar retornos constantes (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978) o variables (Banker, Charnes y Cooper, 1984) a escala; solo bastará con permitir retornos a escala no crecientes durante la programación matemática. Se debe notar que la función de distancia mostrada está orientada a

<sup>15</sup> Se refiere a la reducción a lo largo del rayo que parte del origen hasta el punto observado a algún punto sobre la frontera, debido a la reducción proporcional de los insumos.

la reducción de insumos (el equivalente a una función de producción en fronteras estocásticas<sup>16</sup>).

Es necesario considerar que el cambio en las medidas de eficiencia a lo largo del tiempo llega no solo por un cambio en el uso de insumos, sino también por cambios tecnológicos, expresados en movimientos de la frontera. Este hecho hace ineludible considerar la comparación del vector de insumos de un período respecto a las fronteras de eficiencia de los períodos contiguos. Por ejemplo,  $d_I^{t+1}(x^t, y^t)$  define la reducción que se debe hacer de  $x^t$  para llegar a la frontera definida por la tecnología de las firmas en  $t+1$ ,  $L(y^{t+1})$ . Así, los índices  $d_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})/d_I^t(x^t, y^t)$  y  $d_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})/d_I^{t+1}(x^t, y^t)$  dan cuenta de los cambios en la productividad relativa a una misma tecnología. Para evitar la arbitrariedad de elegir un período determinado, el índice de Malmquist,  $m_I$ , toma una media geométrica de ambos índices (Färe, Grosskopf, Norris y Zhang, 1994):

$$m_I(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[ \frac{d_I^t(x^{t+1}, y^{t+1}) d_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{d_I^t(x^t, y^t) d_I^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

La cual puede ser re-expresada de la siguiente forma:

$$m_I(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{d_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{d_I^t(x^t, y^t)} \left[ \frac{d_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{d_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{d_I^t(x^t, y^t)}{d_I^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2}$$

Donde el primer término del lado derecho compara dos funciones de distancias y da cuenta del cambio en eficiencia. El segundo término es la media geométrica de dos cocientes, donde cada uno aísla el cambio en la función de distancia debido a un cambio puramente en la frontera, es decir capturan el cambio tecnológico.

Sin embargo, las medidas de Malmquist mostradas hasta ahora no han hecho referencia a los retornos a escala de la firma. Tomando en cuenta éstos, el cambio en eficiencia mostrado es calculado bajo el supuesto de retornos constantes a escala (RCE) en 2 componentes. El primero es el cambio puramente en eficiencia técnica (estimado a partir del supuesto de retornos variables a escala, RVE). El segundo es un componente residual, que da cuenta de los cambios debido a las desviaciones de escala tecnológica, producto de no estar operando con el tamaño óptimo de planta. Lo anterior se expresa de la siguiente forma (Färe y Grosskopf, 1990):

<sup>16</sup> Se utiliza esta orientación en el proceso debido a que hace posible descomponer el índice de ineficiencia y, en consecuencia, observar la evolución del cambio tecnológico. Por ese motivo en la presente subsección se trabaja sobre la base de un modelo orientado a la reducción de insumos.

$$\frac{d_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{d_I^t(x^t, y^t)} = \left[ \frac{d_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{d_I^t(x^t, y^t)} \right]_{RVE} \left[ \frac{d_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})_{RCE} / d_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})_{RVE}}{d_I^t(x^t, y^t)_{RCE} / d_I^t(x^t, y^t)_{RVE}} \right]$$

Finalmente, el índice de cambio de productividad de Malmquist se descompone como:

$$m_I(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = CT \times CETP \times CEE$$

Donde CT es el cambio tecnológico, CETP es el cambio en eficiencia técnica pura y CEE es el cambio en eficiencia de escala.

El enfoque DEA calcula las funciones de distancia mediante el siguiente algoritmo de programación matemática:

$$d_I^s(x^r, y^r) = \min_{\theta, \lambda} \theta$$

s.a.

$$\begin{aligned} -y_i^r + Y_s \lambda &\geq 0 & \forall i = 1 \dots K \\ \theta x_i^r - X_s \lambda &\geq 0 \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned}$$

Donde  $y_i$  es el vector de productos de la empresa  $i$ ,  $x_i$  es el vector de insumos de la empresa  $i$ ,  $X$  es una matriz de  $N$  insumos por  $K$  empresas,  $Y$  es una matriz de  $m$  productos por  $K$  empresas y  $\lambda$  es un vector de constantes de dimensión  $K \times 1$ . Los valores posibles  $s$  y  $r$  pueden ser  $t$  y  $t+1$ , y la programación se realiza para las cuatro combinaciones posibles de tales valores. Además de estos escenarios, se debe calcular un proceso adicional en cada uno de los 4 casos, bajo la restricción de retornos no crecientes a escala  $K1'\lambda = 1$ , donde  $K1$  es un vector de unos de dimensión  $K \times 1$ , cuya finalidad es incorporar los retornos variables a escala al cálculo.

Para ir de acuerdo con la modelación paramétrica, la variable dependiente a utilizar está representada por el número de clientes. Las variables utilizadas como insumos son el número de conexiones activas y el número de trabajadores totales. Adicionalmente, se usan las variables PERDIDAS y CLORO para controlar por eficiencia de la firma y calidad del servicio. El uso de variables de calidad como CLORO y eficiencia de la firma como PERDIDA se puede encontrar en Erbetta y Cave (2006).

### 3.3 Datos

El ente regulador encargado del sector de agua y saneamiento en Perú es la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), creada en 1992. Su

primera acción fue reestructurar a todas las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) y definir su ámbito de atención a las zonas urbanas. Asimismo, se creó un sistema mediante el cual las EPS deben presentar información tanto financiera como operativa. Sin embargo, aun con esta disposición del regulador, las firmas no reportan toda la información relevante. En el Anexo 1, se muestra una tabla con el número de años de información disponible para las principales variables del estudio para cada firma durante el período 1996-2010, años para los cuales existe información del sector. Como se puede apreciar de la última columna, se privilegió a aquellas firmas que contaran con más información. El motivo de realizar una selección de firmas se debe a que cada sección transversal adicional es altamente valiosa en los estudios de eficiencia, ya que cada año adicional representa un determinado nivel de desempeño de la firma que debe ser tomado en cuenta. Más aún, al trabajar con una estructura de panel de datos no balanceado, como es el caso de este estudio, el algoritmo que está detrás de la regresión da mayor ponderación a las firmas que cuenten con mayor información.

No se consideró a la firma que atiende a la ciudad de Lima, Sedapal, debido a que presenta características muy particulares en comparación a las demás firmas. La presencia de quiebre estructural y multicolinealidad fue descartada mediante las pruebas correspondientes. Los porcentajes de las firmas de la muestra que quedaron luego del filtro por información disponible<sup>17</sup> para cada tamaño de firma son: 66% de las pequeñas, 93% para las medianas y 75% para las grandes, asegurando la representatividad de cada grupo. Algunas de las variables necesarias para el estudio tuvieron que ser estimadas al no encontrarse directamente disponibles; tales fueron los casos de los precios del capital y de la mano de obra, cuya obtención se hizo mediante la información que las EPS proveen a la SUNASS. Autores como Romero y Ferro (2008) señalan la dificultad en la aproximación del precio del capital para el caso de los países en desarrollo. Por tal motivo, se decidió usar la aproximación hecha por Lin (2005), debido a las restricciones en la cantidad y calidad de información disponible. El precio del capital se representa como el resultado de dividir la suma de la depreciación más intereses entre el *stock* de capital.

En este caso, se eligió al número de conexiones como variable de capital debido a que se cuenta con mayor cantidad de datos. En ese sentido, el precio del capital se calcula como soles por conexión. Con respecto al precio de la mano de obra (salario), su cálculo se obtuvo mediante la división de los gastos en personal entre el número de trabajadores. Ambas variables monetarias fueron corregidas por el alza en el nivel de precios. Adicionalmente, se estimó la variable de estructura de mercado ESTRUC mediante el cociente entre las conexiones domésticas y totales. Las primeras se estimaron mediante la encuesta nacional de hogares (ENAHOG). Todas las demás variables del estudio fueron obtenidas de la SUNASS y son de información pública y de periodicidad anual.

---

<sup>17</sup> Además, se eliminó a la EPS AGUAS DE TUMBES, única que cuenta con una administración privada.

Un supuesto usual en los estudios de fronteras de eficiencia es el de imponer la homogeneidad de grado uno sobre los coeficientes de la estimación. Debido a que este supuesto se aplica sobre todos los coeficientes de los precios de los insumos usados en la producción, y como no se cuenta con información adicional sobre costos asociados a gastos complementarios, como los de distribución, tal supuesto no puede ser asumido. Si se tomara el supuesto sin tener dicha información, implicaría que las firmas se encuentran operando en el tamaño óptimo de planta, ya que se estaría dando la señal que no importa no tomar en cuenta tal insumo<sup>18</sup>.

## 4.- Análisis de resultados

### 3.1 Estimación paramétrica<sup>19</sup>

A pesar de la flexibilidad que ofrecen las funciones de tipo translogarítmicas, para la estimación del modelo se optó por una forma funcional del tipo Cobb Douglas. El motivo de esta elección es que la forma translogarítmica pierde potencia cuando la información presenta *missing values*, como es el caso del panel desbalanceado con el que se trabaja. Además, como se probará más adelante, la función de costos traslogarítmica no se ajusta a la naturaleza de los datos. El modelo mostrado es del tipo de Battese y Coelli (1995), en el cual las variables bajo el control de la firma afectan la ineficiencia técnica. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

---

<sup>18</sup> Para un mayor tratamiento ver Varian (1998).

<sup>19</sup> La modelación paramétrica fue hecha mediante el programa "Frontier versión 4.1", desarrollado por Tim Coelli.



Tabla 4							
Resultados del modelo paramétrico							
Frontera de Costos				Ineficiencia Técnica			
Variables	Coefficiente	Desvest	Probabilidad	Variables	Coefficient	Desvest	Probabilidad
			d		e		d
<i>CONSTANTE</i>	-0.4232	1.2229	0.3428	<i>CONSTANTE</i>	6.2321	1.6153	0.0001
<i>CLIENT</i>	0.5968	0.1108	0.0000	<i>MICRO</i>	-0.3695	1.0534	0.3629
<i>LnPw</i>	0.2521	0.0728	0.0010	<i>CONT</i>	-0.1312	0.0725	0.0355
<i>LnPk</i>	0.9388	0.1014	0.0000	<i>COBA</i>	-2.9385	1.1316	0.0048
<i>ESTRUC</i>	0.0524	0.7469	0.4762	<i>PERDIDAS</i>	0.3370	0.9396	0.0360
<i>t</i>	0.0442	0.0195	0.0910	<i>CLORO</i>	0.7367	1.2977	0.2852
				<i>COBAL</i>	-1.3048	1.0242	0.1016
Dummies	Si			<i>CONN</i>	-4.0656	1.1284	0.0002
Periodos	15			Sigma2	2.6957	0.2012	0.0000
Firmas	37			gamma	0.1617	0.0618	0.0046

Elaboración propia.

Los signos de los coeficientes del producto (*CLIENT*) y los precios de los insumos (*Pk* y *Pw*) resultan positivos, lo que implica que ante un aumento de cualquiera de estas variables ocurrirá un incremento en los costos de la firma. Por otro lado, la variable que indica la estructura de mercado (*ESTRUC*) presenta un coeficiente positivo, que muestra del aumento en costos producto de atender a un mayor número de conexiones residenciales. Por su parte, el coeficiente del término de cambio tecnológico ( $\dot{E}$ ) presenta signo positivo, reconociendo un efecto negativo de la tecnología de casi 4.42% durante el período 1996-2010. Esto es, el cambio tecnológico produjo un aumento en costos durante el período de análisis.

En las variables que explican la ineficiencia técnica se tiene que la mayoría resultan ser significativas. Tanto *COBA* como *COBAL*, las variables de cobertura de los servicios de agua y alcantarillado respectivamente, presentan coeficientes con signos negativos. Es decir, dadas las redes de distribución existentes, se vuelve menos costoso dar el servicio a nuevos consumidores, indicando la presencia de economías a escala.

La variable de micromedición (*MICRO*) muestra un coeficiente negativo. Contar con un mayor número de medidores permite a las firmas obtener los beneficios por lo que producen, reduciendo la ineficiencia técnica. Por otro lado, el coeficiente positivo de la variable *CLORO* indica que reducir el porcentaje de muestras de agua que tengan un nivel de cloro inferior al permitido reduce la ineficiencia técnica. Sin embargo, estas dos últimas variables resultan ser no significativas.

Por su parte, la variable de conexiones (CONN) da cuenta del mejor aprovechamiento del capital existente de la firma. Ante un aumento del número de conexiones activas relativo al número de conexiones existentes, la ineficiencia cae producto del mejor aprovechamiento del capital existente, lo cual lleva a mayores niveles de facturación y menores niveles de ineficiencia.

El coeficiente positivo de la variable PERDIDAS indica que un aumento en los volúmenes no facturados incrementa ineficientemente los costos de la firma. Un aumento de esta variable permite a las firmas contar con menores ingresos. La variable de continuidad del servicio (CONT), con coeficiente negativo, exhibe las economías a escala temporales que surgen de la intensidad de uso de la planta. Por último, debe notarse que no todas las variables *dummies* han sido usadas en la regresión. Esto se debe al elevado grado de multicolinealidad que representa el poner al resto de ellas.

Aun con todo lo visto, es necesario probar que tanto la forma funcional elegida, así como el resto de supuestos hechos tienen validez. Con ese fin, se realizan cuatro pruebas sobre el ratio de verosimilitud (o *test* LR, por sus siglas en inglés), las cuales son obtenidas mediante las funciones de verosimilitud que surgen al efectuar cada regresión alternativa. La primera prueba de hipótesis es para probar si la especificación del modelo es la correcta, es decir si se debe utilizar una función de costos del tipo translogarítmica en lugar de una del tipo Cobb-Douglas. Este enunciado se muestra en la fila 1 de la Tabla 5, en la cual la hipótesis nula es la correcta especificación del modelo, es decir que la función es efectivamente de la forma Cobb-Douglas. Debido a que el valor del *test* LR no supera al valor crítico, no se puede rechazar la hipótesis nula. De esta forma, se valida el uso de esta forma funcional y, en adelante, las demás pruebas de hipótesis se basan en el modelo con esa especificación.

**Tabla 5**  
**Diversas pruebas de hipótesis**

Pruebas de Hipótesis	Restricciones	Función de Verosimilitud	Test LR	Valor Crítico
<i>H<sub>0</sub>: Cobb – Douglas</i>	6	28.47	6.14	10.64
<i>H<sub>0</sub>: <math>u_{it} = \delta_0 + e_{it}</math></i>	7	44.17	39.39	12.01
<i>H<sub>0</sub>: <math>u_{it} = e_{it}</math></i>	8	57.28	65.61	13.36
<i>H<sub>0</sub>: <math>d_i = 0, \forall i = 1, \dots, 37</math></i>	37	59.31	69.66	49.51

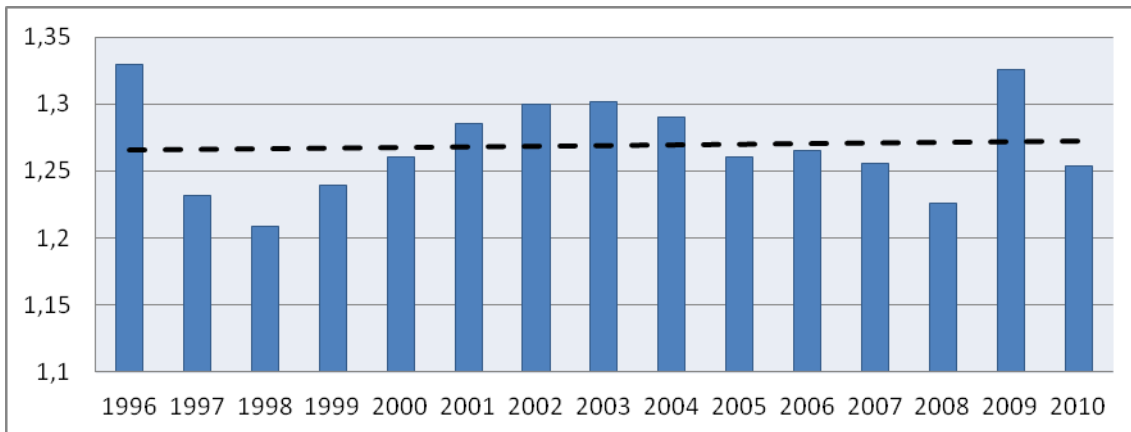
Elaboración propia.

En segunda instancia, se realiza un *test* de significancia de variables, es decir, se busca probar si las variables seleccionadas para la especificación del término de ineficiencia logran explicarlo. Los resultados de la prueba indican que, en conjunto, las variables elegidas como explicativas del término de ineficiencia técnica son las correctas. Este resultado surge de

rechazar la hipótesis nula de que la ineficiencia solo es explicada mediante el intercepto y un término de error. Seguidamente, se realiza la prueba para analizar si el término de eficiencia en realidad corresponde a uno del tipo Battese y Coelli (1992), en el cual las variables bajo el control de la firma no explican la ineficiencia técnica. Con este último *test* se confirma lo visto en la sección 2.1 sobre la elección del modelo tipo Battese y Coelli (1995), en el cual las variables bajo el control de la firma afectan solo al término de ineficiencia y no a la estructura de costos. Por último, se prueba la hipótesis de que los efectos de heterogeneidad invariantes en el tiempo no son significativos; dando como resultado la negación de dicha hipótesis.

Una vez que la especificación del modelo ha sido validada, así como las variables que explican la ineficiencia técnica, se prosigue a analizar los resultados que se desprenden del modelo. De este modo, el Gráfico 6 muestra la evolución de la ineficiencia promedio de la industria para cada año. Se observa que la ineficiencia presenta valores altos entre los años 2001 y 2004. Ese período de tiempo se caracterizó por un estancamiento en el crecimiento del número de conexiones activas. La línea punteada en el gráfico muestra la tendencia lineal de la ineficiencia a lo largo del tiempo, la que se aprecia en promedio constante, a pesar de las fluctuaciones en la industria en términos de eficiencia técnica.

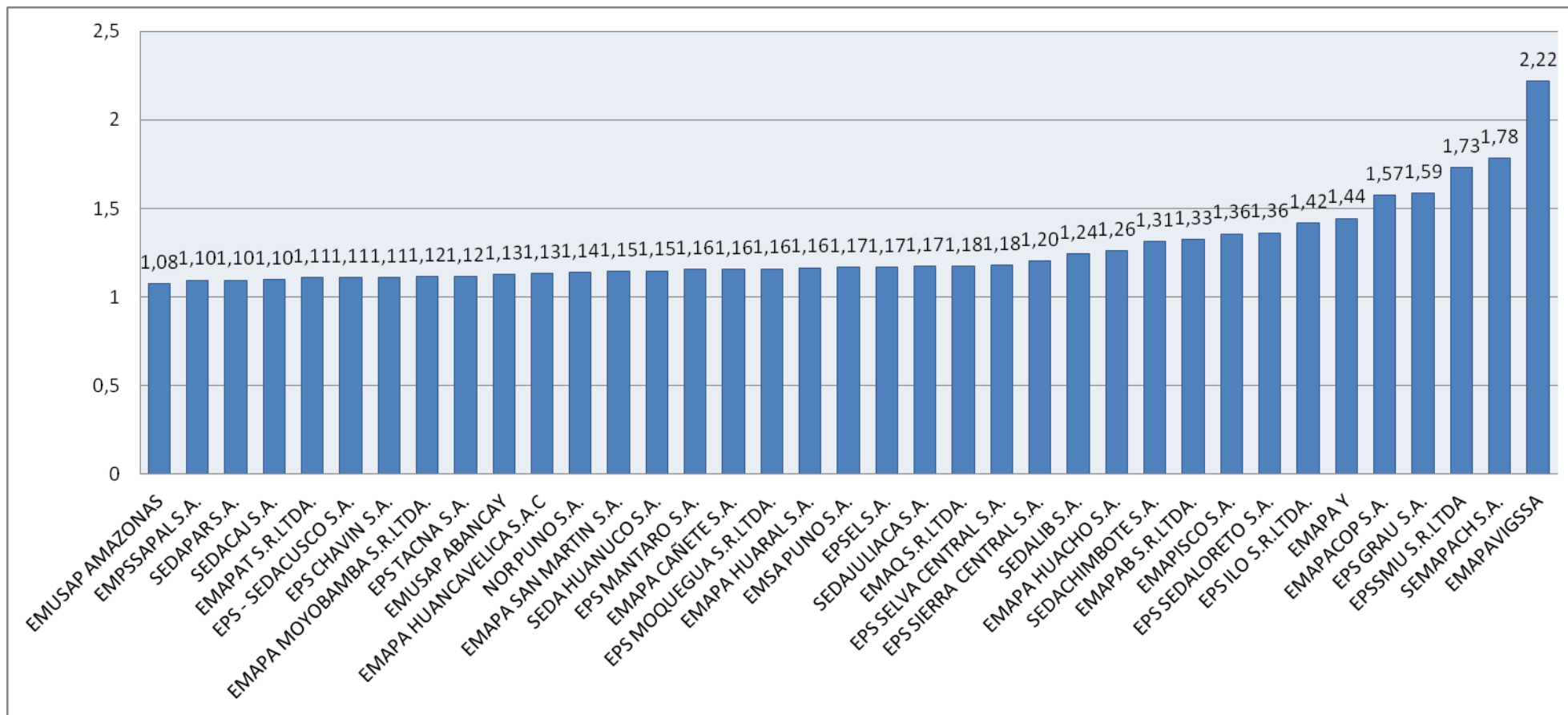
**Gráfico 6**  
**Ineficiencia promedio de la industria**



Elaboración propia.

El Gráfico 7 muestra el *ranking* de ineficiencia técnica para el período 1996-2010. En este se presenta de manera ascendente a las firmas menos eficientes del período, relativo al desempeño de las demás firmas bajo análisis. El índice de ineficiencia promedio de 1.26 indica que las firmas aumentaron sus costos en promedio en un 26% durante el período 1996-2010 debido a la ineficiencia técnica.

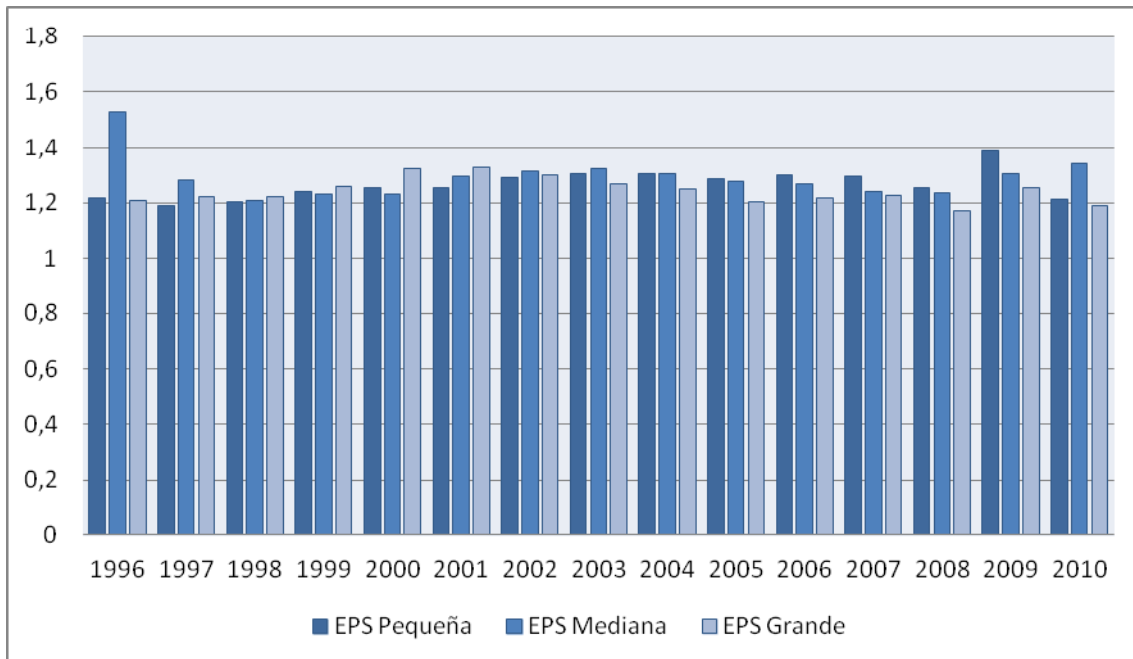
**Gráfico 7**  
**Ranking de ineficiencia promedio 1996-2010**



Elaboración propia.

Finalmente, la ineficiencia promedio para el período de análisis de las firmas agrupadas de acuerdo al tamaño se muestra en el Gráfico 8. Se observa que desde el año 2002 la ineficiencia de las firmas grandes ha venido siendo la menor, además de ir disminuyendo en el tiempo. Un hecho diferente sucede con las firmas pequeñas, que desde 2004 son las que siempre cuentan con los mayores niveles de ineficiencia y con tendencia creciente (con excepción de 2010).

**Gráfico 8**  
**Ineficiencia promedio según tamaño de EPS**



Elaboración propia.

Debido a que las firmas con mayor tamaño presentan menores índices de ineficiencia y que lo contrario ocurre con las de menor tamaño, se hace necesario probar si las firmas podrían ahorrar costos con un mayor nivel de producto. Fraquelli y Moiso (2005) describen a las economías de densidad de producto como la inversa del coeficiente de la variable usada como producto. En este caso, la inversa del coeficiente del número de clientes (CLIENT) es 1.63, evidenciando la presencia de economías de densidad de producto. Esto es, las firmas pueden aumentar el número de clientes, manteniendo todo lo demás constante, y reducir sus costos.

## 4.2 Estimación no paramétrica<sup>20</sup>

En esta sección se procede a descomponer los índices de eficiencia de acuerdo a las especificaciones sobre el DEA y el índice de Malmquist hechas en la sección 2.2. En la Tabla 6 se muestra la descomposición de los índices de eficiencia para el período 1996-2010.

<b>Tabla 6</b>					
<b>Cambios anuales promedio</b>					
Año	Cambios en Eficiencia	Cambio Tecnológico	Cambio en Eficiencia Pura	Cambios en la Escala	Malmquist
1997	1.1046	0.8953	1.0969	1.0201	1.0017
1998	0.9949	1.0765	0.9654	1.0306	1.0711
1999	0.9158	0.9866	1.0437	0.8774	0.9034
2000	1.0552	0.9046	1.0298	1.0247	0.9546
2001	0.9673	1.0261	0.9337	1.0358	0.9924
2002	1.0270	0.9674	1.0526	0.9758	0.9936
2003	0.9400	1.1012	1.0011	0.9389	1.0350
2004	1.0379	0.9686	1.0238	1.0137	1.0052
2005	1.0001	1.0383	0.9985	1.0017	1.0385
2006	1.0115	1.0217	1.0085	1.0029	1.0335
2007	0.9779	1.0463	0.9641	1.0142	1.0230
2008	1.0127	0.9661	0.9703	1.0436	0.9782
2009	1.0074	0.9777	1.0870	0.9269	0.9850
2010	0.9546	0.9984	1.0277	0.9288	0.9531
Promedio	0.9994	0.9966	1.0135	0.9870	0.9969

Elaboración propia.

La tabla anterior toma las medias geométricas para todas las firmas del sector para cada año y según cada medida<sup>21</sup>. Al final de la tabla se muestran los promedios para todo el período de análisis. En la última columna se muestra un índice promedio geométrico de Malmquist para todo el período de análisis, siendo este menor a 1%. Es decir, la productividad total de los factores de producción cayó en promedio para el sector. En la misma columna se muestra como la productividad de los factores aumentó para el período 2002-2007, período en el cual las firmas realizaron inversiones de capital.

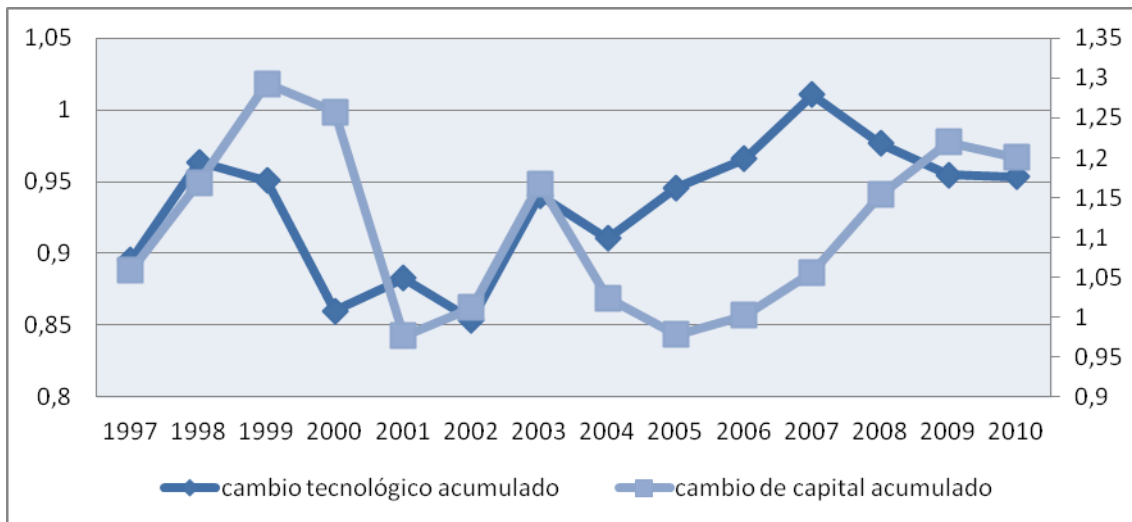
<sup>20</sup> La modelación no paramétrica fue hecha mediante el programa "Deap versión 2.1", desarrollado por Tim Coelli.

<sup>21</sup> La decisión de tomar una media geométrica y no un promedio ponderado se debe a que se quiere que el índice refleje el promedio de las firmas como si fueran individuos que tienen el mismo nivel de importancia. Esto se realiza siguiendo el trabajo de Fare, Grosskopf, Norris y Zhang (1994).

Los cambios en el índice de Malmquist son explicados por las medidas de las columnas 2 a la 4. En la columna 2 se describe el cambio tecnológico. Los resultados obtenidos para esta medida muestran que no hubo ganancias por innovación tecnológica, y que incluso esta tuvo un retroceso, indicando un desplazamiento hacia adentro de la frontera de eficiencia. La poca renovación de los activos de la firma es la principal causa de este resultado. Por otro lado, en la tercera columna se muestra como las firmas han mejorado en 1.35% su desempeño debido únicamente a las mejores prácticas para el período de análisis. En la cuarta columna se evidencia que, en promedio, las firmas no se encuentran operando en el tamaño óptimo de planta y que el aprovechamiento de las mismas ha caído en alrededor de 1.3% durante el período de análisis. Por último, se aprecia que todas las medidas presentadas tienen cambios erráticos a lo largo del tiempo y no siguen ningún patrón predeterminado.

A pesar que se tiene el cambio tecnológico en la industria para cada año, es preferible analizar el cambio tecnológico acumulado como señal de la innovación tecnológica. Este es obtenido mediante la multiplicación del índice de un año respecto al acumulado al año anterior. Para el cambio tecnológico acumulado, se tomó como capital al número de conexiones activas, debido a que son estas las que la empresa está interesada en adquirir y mantener en el largo plazo. Para el cambio promedio anual se tomó el promedio anual de la industria de los cambios en el capital. En el siguiente gráfico se muestra la evolución anual de esta última medida, con coordenadas en el eje de la derecha, y el cambio tecnológico acumulado, con coordenadas en el eje de la izquierda.

**Gráfico 9**  
**Cambio acumulado de capital vs cambio tecnológico acumulado**



Elaboración propia.

El gráfico señala cómo los cambios tecnológico y de capital acumulados van mayormente en una misma dirección y tendencia durante el período de análisis. En algunos años, parecería que los cambios en el capital se mueven de manera rezagada a los

movimientos del cambio tecnológico<sup>22</sup>. De esta manera, podría plantearse que la contracción en los desplazamientos de la frontera de eficiencia se ha visto influenciada por los cambios rezagados en el *stock* de capital a los requerimientos del cambio en la tecnología.

## 5.- Conclusiones y recomendaciones

A lo largo de este documento se ha evaluado el desempeño global de 37 firmas del sector de agua y saneamiento de Perú. Mediante los métodos de análisis de fronteras estocásticas y DEA se han obtenido distintos indicadores de eficiencia para el período comprendido entre los años 1996 y 2010. Los objetivos se han orientado a encontrar los determinantes de la ineficiencia y al análisis de la evolución de los cambios de la descomposición de la eficiencia en el tiempo.

Los tres principales hallazgos en las estimaciones evidencian lo obtenido de manera cualitativa en el análisis descriptivo del sector. En primer lugar, los bajos niveles de inversión en el sector han impedido que las firmas disfruten los beneficios del cambio tecnológico. Los resultados indican que el cambio tecnológico ha tenido un efecto positivo sobre los costos de la firma, lo que implica que las firmas no estarían respondiendo a los requerimientos de capital que optimicen la respuesta de las mismas a la demanda del mercado. Así, en este caso, se tendría que para el sector de agua en Perú el monopolio que representa cada firma no solo es estricto, sino que responde regresivamente a la demanda. Esto es, se podría decir que las firmas en el sector se han vuelto monopolios “más estrictos” con el pasar del tiempo. Precisamente, los períodos de mayor ineficiencia en el sector fueron en los cuales el número de conexiones activas creció en menor cuantía.

En segunda instancia, las firmas en el sector no se encuentran operando en la escala óptima de producción. La evidencia indica que las firmas del sector presentan economías de densidad de producto, y que existen beneficios en términos de reducción de los costos de aumentar el producto. Esto último se debe en gran parte a que las firmas no aprovechan el tamaño de planta, es decir, no utilizan toda la capacidad instalada. El bajo nivel en la continuidad del servicio acentúa el problema. La correlación negativa entre el tamaño de firma y la ineficiencia evidencia este hecho. Entonces, las firmas pueden obtener ganancias mediante el aumento del número de conexiones, y así reducir los niveles de ineficiencia. A pesar de esta conclusión, debe aclararse que las firmas se encuentran delimitadas por los tamaños y características específicas de los mercados a los que atienden. Características como la mencionada son consideradas en los índices de ineficiencia tomados en este estudio, mediante la inclusión de variables de control en la regresión.

---

<sup>22</sup> Lamentablemente, la escasez de datos no hace posible realizar un *test* de causalidad robusto.



En último lugar, la calidad del servicio es un aspecto que resulta determinante para explicar la ineficiencia. Si este aspecto no es incluido durante la estimación, las firmas podrían pasar como más eficientes de lo que realmente son, aún si no proveen un servicio adecuado. Existen varios temas relacionados a la calidad del servicio de los cuales las firmas no se han ocupado en los últimos años. Por ejemplo, el manejo de los desechos no ha sido tomado en cuenta por las EPS. De la misma forma, se tiene que los volúmenes de agua residuales tratadas se han mantenido casi constantes en el tiempo, al igual que los niveles de cloro residual, variable empleada en este estudio.

A pesar de los hallazgos del presente estudio, se hace necesaria una mayor investigación sobre el desempeño de las empresas del sector de agua y saneamiento en Perú. Sin embargo, para poder cumplir con esta propuesta, es necesario que las EPS reporten más información respecto a sus operaciones y a las variables de sus respectivos ambientes operativos.

## Bibliografía

Aigner, D.J. y S.F. Chu (1968). "On Estimation of Production Function". *American Economic Review*, Vol. 13, 568-98.

Aigner, D.J. ; K. Lovell y P. Schmidt (1977). "Formulation and Estimation of Stochastic Production Function Models". *Journal of Econometrics*, Vol. 6, 21-37.

Banker, R.; A. Charnes y W. Cooper (1984). "Some Models for Estimating technical and Scale Inefficiencies in the Data Envelopment Analysis". *Management Science*, Vol. 30(9), 1078-1092.

Battese, G. E. y T. Coelli (1995). "A Model for Technical Inefficiency in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data". *Empirical Economics*, Vol. 20, 325-332.

Battese, G. E. y T. Coelli (1992). "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data with Applications to paddy farmer in India". *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 3, 153-169.

Charnes, A.; W. Cooper y E. Rhodes (1978). "Measuring Efficiency of Decision Making Units". *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, 429-444.

Coelli, T.; R. Rao; C. O'Donnell y G. Battese (2005). "An introduction to Efficiency and Productivity Analysis". Springer Science + Business Media Inc. Segunda edición.

Coelli, T.; S. Perelman y E. Romano (1999). "Accounting for Environmental Influences in Stochastic Frontier Models: With Application to International Airlines". *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 11, 251-273.

Coelli, T. y S. Walding (2005). "Performance Measurement in the Australian Water Supply Industry". Centre for Efficiency and productivity (CEPA). Working Paper Series, No. 01/2005.

Corton, M. L. (2003). "Benchmarking in the Latin American water sector: the case of Peru". *Utility Policy*, Vol. 11(3), 133-142.

Erbetta, F. y M. Cave (2006). "Regulation and efficiency incentives evidence from the England and Wales water sewerage industry". *Review of Network Economics*, Vol. 6(2), 425-452.

Estache, A y E. Kuassi (2002). "Sector Organization, Governance and the Inefficiency of African Water Utilities", World Bank Policy Research Working Paper 2890.

Estache, A. y M. Rossi (1999). "Estimación de una frontera de Costos Estocástica para empresas del sector agua en Asia y Región del Pacífico". Centro de Estudios Económicos de la Regulación, Instituto de Economía, Universidad Argentina de la Empresa. Texto de discusión 4.

Färe, R. y S. Grosskopf (1990). "Theory and Calculation of Productivity Indexes: Revisited". Discussion Paper No. 90-8, Southern Illinois University.

Färe, R.; S. Grosskopf; M. Norris y Z. Zhang (1994). "Productivity Growth, Technical Progress, and Affiance Change in Industrialized Countries". The American Economic Review, Vol. 84(1), 66-83.

Faria, R.C.; G. Silva e Souza y B. Moreira (2005). "Public Versus Private Water Utilities: Empirical Evidence from Brazilian Companies". Economics Bulletin, 8(29), 1-7.

Farrell, M. J. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency". Journal of Royal Statistical Society, Series A, Vol. 120(3), 253-290.

Ferro, G. y C. A. Romero (2009). "Empresas de agua y alcantarillado en América Latina". Estudio de Fronteras de Eficiencia, Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento en América Latina (ADERASA).

Filippini, M.; N. Hrovatin y J. Zoric (2008). "Cost Efficiency of Slovenian Water Distribution Utilities: An Application of Stochastic Frontier Methods". Journal of Productivity Analysis, Vol. 29(2), 169-182.

Fraquelli, G. y V. Moiso (2005). "Cost Efficiency and Scales Economies in the Italian Water Industry". Higher Education and Research on the Mobility Regulation and the Economics of Local Services (HERMES), Working Paper, 8, Torino, Italia.

Greene, W. (2005). "Reconsidering Heterogeneity in the Panel Data Estimators of the Stochastic Frontier Model". Journal of Econometrics, Vol. 126, 269-303.

Jondrow, J.; K. Lovell; I. Materov y P. Schmidt (1982). "On The Estimation of Technical Inefficiencies in the Stochastic Frontier Production Function Model". Journal of Econometrics, Vol. 19, 233-238.

Kirkpatrick, C.; D. Parker y Y.F. Zhang (2006). "State versus Private Sector Provision of Water Services in Africa: An empirical Analysis". The World Bank Economic Review, Vol. 20(1), 143-163.

Kumbhakar, S. (1997). "Modeling Allocative Inefficiency in a Translog Cost Function and Cost Share Equations: An Exact Relationship". Journal of Econometrics, 76, 351-56.

Kumbhakar, S.; S. Ghosh y T. McGuckin (1991). "A Generalized Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in U.S. Dairy Farms". *Journal of Business & Economic Statistics*, American Statistical Association, Vol. 9(3), 279-86.

Lin, C. (2005). "Service Quality and Prospects for Benchmarking: Evidence from the Peru Water Sector". *Utilities Policy*, Vol. 13(3), 230-239.

Pardina, M. R.; M. Rossi y R. Ruzzier (1999). "Fronteras de Eficiencia en el Sector de Distribución de Energía Eléctrica: La experiencia Sudamericana". *Centro de Estudios Económicos de la Regulación (CEER). Texto de Discusión 15.*

Perez-Reyez, R. y B. Tovar (2009). "Measuring Efficiency and Productivity Change (PTF) in the Peruvian Electricity Distribution companies After Reforms". *Energy Policy*, Vol. 37, 2249-2261.

Romero, C. A. y G. Ferro (2008). "A Benchmarking Exercise on Latin American Water Util," UADE Working Papers 27. Instituto de Economía, Universidad Argentina de la Empresa.

Sabbioni, G. (2005). "Econometric measures of the relative inefficiency of water and sewerage utilities in Brazil". *Public Utility Research Center, University of Florida.*

Sandford, B. y C. Lin (2007). "Consistency in Performance Rankings: The Peru Water Sector". *Applied Economics*, Vol. 40(6), 793-805.

Sauer, J. y K. Frohberg (2007). "Allocative Efficiency of Rural Water Supply – A Globally Flexible SGM Cost Frontier". *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 27, 31-40.

Shleifer, A. (1985). "A theory of Yardstick Competition". *Rand Journal of Economics* 16(3), 319-27.

da Silva e Souza, G.; C. Faria y B. Moreira (2007). "Estimating the relative efficiency of Brazilian publicly and privately owned water utilities: a stochastic cost frontier approach". *Journal of American Water Resources Association* 43(5), 1237-1244.

Varian, H.R. (1998). "Análisis Microeconómico". Antoni Bosch, Tercera Edición, España.

## Anexo

**Número de años de información disponible para las principales variables y su pertenencia a la muestra**

	Clientes agua	Cobertura agua	Vol. factur.	Red distrib.	Nº trabaj.	Conex. activas	Conti n.	En la muestra
EMUSAP AMAZONAS	15	15	15	15	15	15	15	Sí
SEDA HUANUCO S.A.	15	15	15	13	15	15	15	Sí
EMAPACOP S.A.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EPS SEDALORETO S.A.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EMAPA CANETE S.A.	15	15	15	13	15	15	15	Sí
EMSA PUNO S.A.	15	15	15	12	15	15	15	Sí
EPSSMU S.R.LTDA	13	13	13	11	15	13	12	Sí
AGUAS DE TUMBES	15	15	15	12	15	15	15	No
EMAPA PASCO S.A.	11	11	9	8	14	11	10	No
EMAPISCO S.A.	14	14	13	12	15	14	13	Sí
SEDACAJ S.A.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EPS TACNA S.A.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EMAPAVIGSSA	13	13	15	13	15	15	15	Sí
SEDACHIMBOTE S.A.	15	15	15	13	15	15	15	Sí
EPSASA	15	15	15	15	15	15	15	No
EMAPA SAN MARTIN S.A.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EMAPAT S.R.LTDA.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
SEMAPACH S.A.	15	15	14	12	15	14	14	Sí
EPS SELVA CENTRAL S.A.	15	15	15	14	14	15	15	Sí
EMAPA MOYOBAMBA S.R.LTDA.	15	15	15	13	15	15	15	Sí
EMAPA HUANCAVELICA S.A.C	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EPS MOQUEGUA S.R.LTDA.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EMAPA Y	15	15	15	12	14	14	14	Sí
EMAPA HUARAL S.A.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EMAPA HUACHO S.A.	15	15	15	14	15	15	15	Sí

SEDAPAL S.A.	15	15	15	15	15	15	15	No
EPS ILO S.R.LTDA.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
SEDALIB S.A.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EPSEL S.A.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
SEDAPAR S.A.	15	15	15	13	15	15	15	Sí
EPS - SEDACUSCO S.A.	15	15	15	13	15	15	15	Sí
EPS GRAU S.A.	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EPS CHAVIN S.A.	15	15	15	13	15	15	15	Sí
EMAQ S.R.LTDA.	14	14	15	13	15	15	15	Sí
EMAPAB S.R.LTDA.	14	14	13	11	15	13	13	Sí
SEMAPA BARRANCA S.A.	15	15	15	13	15	15	14	No
EMAPICA S.A.	15	15	15	10	15	15	15	No
EMPSSAPAL S.A.	15	15	15	14	15	15	15	Sí
EPS SIERRA CENTRAL S.A.	15	15	15	12	15	15	15	Sí
NOR PUNO S.A.	14	14	13	12	15	14	14	Sí
SEDAJULIACA S.A.	15	15	15	14	15	15	15	Sí
EPS MANTARO S.A.	13	13	13	13	15	13	12	Sí
EMUSAP ABANCAY	15	15	15	15	15	15	15	Sí
EMSAP CHANKA	11	11	9	6	11	8	7	No
EPS MARANON	13	13	13	11	14	13	13	No
SEDAM HUANCAYO S.A.C	7	7	11	6	13	7	7	No
EPS CALCA	6	5	7	4	4	5	5	No
EPS AGUAS DEL ALTIPLANO	6	5	7	6	4	5	4	No
EMSAPA YAULI	6	5	7	5	4	5	5	No
SEDAPAR S.R.L. (Rioja)	5	5	7	5	5	4	4	No

Para la selección de variables se tomó en cuenta no solo el número de años de información sino también la representatividad de cada uno de los grupos de tamaños de firmas. Debido a lo anterior se eliminó a aquellas firmas que contaran con menos años de información dentro de cada grupo de tamaños de EPS.