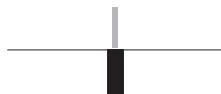


# REGULACIÓN

DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO

REVISTA No. 14



## **COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO – CRA**

Álvaro Uribe Vélez – Presidente de la República de Colombia

### **MIEMBROS DE LA COMISIÓN**

Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial  
Juan Francisco Lozano Ramirez

Viceministra de Agua y Saneamiento - MAVDT  
Leyla Rojas Molano

Ministro de la Protección Social  
Diego Palacio Betancourt

Directora General Departamento Nacional de Planeación  
Carolina Rentería Rodríguez

Superintendente General Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios  
Evamaría Uribe Tobón

### **EXPERTOS COMISIONADOS**

José Francisco Manjarrés Iglesias – Director Ejecutivo  
Cristian Stapper Buitrago  
Julio César del Valle Rueda  
Clara Lucía Uribe Payares

### **UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL – CRA**

Pedro Luis Bohorquez Ramírez – Subdirector Administrativo y Financiero  
Cristina Morales Buitrago – Jefe Oficina Asesora de PLaneación  
Lida Ruiz Vásquez - Subdirectora Técnica  
Beatriz Elena Cárdenas Casas - Jefe Oficina Asesora Jurídica

# TABLA DE CONTENIDO

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>5</b>
<b>1.- REVISIÓN DE LOS MODELOS DE EFICIENCIA INTRODUCIDOS MEDIANTE LA RESOLUCIÓN CRA 287 DE 2004</b>	<b>7</b>
Daniel Revollo Fernández. Asesor Subdirección Técnica. Juan Andrés Ramírez. Asesor Subdirección Técnica.	
<b>2.- ANÁLISIS DE ECONOMÍAS DE ESCALA Y ALCANCE EN LOS SERVICIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN COLOMBIA</b>	<b>91</b>
Daniel Revollo Fernández. Asesor Subdirección Técnica. Giovanna Londoño. Asesor Experto Comisionado.	
<b>3.- PROYECTO DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE Y REFORMA DEL MARCO REGULADOR</b>	<b>122</b>
Julio César Aguilera Wilches. Asesor CRA.	
<b>4.- COSTO DE CAPITAL</b>	<b>148</b>
Julio César Aguilera Wilches. Asesor CRA.	
<b>5.- EL SERVICIO UNIVERSAL EN LOS SERVICIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO: UN COMPROMISO DE BIENESTAR PARA LOS COLOMBIANOS</b>	<b>170</b>
Cristian Stapper. Experto Comisionado. Giovanna Londoño. Ex Asesora Experto Comisionado.	



## PRESENTACIÓN

Continuando con la labor de difusión, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA, presenta la 14ª edición de su revista institucional la cual recoge trabajos que sirven de apoyo para las “Bases para la Revisión Quinquenal de la Fórmula Tarifaria para los Servicios de Acueducto y Alcantarillado 2009 - 2014”. Estas bases tarifarias tienen como objetivo analizar el contenido y alcance de la actual metodología tarifaria de los Servicios de Acueducto y Alcantarillado, buscando definir los lineamientos de la nueva metodología para que la prestación de estos servicios sea más eficiente, con mayor cobertura y de mejor calidad, en beneficio de toda la comunidad.

La intención de la Comisión con esta publicación, es generar un espacio para que todas las empresas, usuarios, entidades públicas y terceros interesados tengan la oportunidad de conocer temas importantes con las bases para la revisión quinquenal y que desde su perspectiva y con base en su opinión calificada, contribuyan al análisis argumentativo sobre temas y aproximaciones propuestas, con el convencimiento que entre todos podemos construir ajustes metodológicos que, en materia de costos y tarifas, contribuyan a la consolidación sectorial, en términos de más y mejores servicios para todos los colombianos, bajo la premisa de servicios de calidad a tarifas razonables, que reflejen adecuadamente costos de eficiencia y un retorno equilibrado a los productores.

Inicialmente se presenta un artículo que realiza una revisión de los modelos de eficien-

cia introducidos mediante la Resolución CRA 287 de 2004, con el objetivo de profundizar los incentivos asociados a estas medidas. Para esto, se analiza posibles mejoras en el desempeño de la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA) mediante el ajuste de los supuestos empleados en su formulación, específicamente los relacionados con la inclusión, exclusión y modificación de variables.

En el marco de la revisión tarifaria quinquenal, la CRA considera pertinente incluir la revisión de economías de escala y alcance como forma de alcanzar dos objetivos incluidos en las Bases para la Revisión Quinquenal: i) Aprovechar las mejoras en eficiencia, tanto asignativa como productiva, derivadas del aprovechamiento de economías de escala y alcance, y ii) Distribuir las ganancias en eficiencia entre los usuarios y los prestadores del servicio. En tal sentido, el segundo artículo realiza una estimación de dichas economías para los servicios de Acueducto y Alcantarillado.

El nivel de pérdidas de aguas, tanto técnicas como comerciales, refleja en buena medida la gestión técnica como operativa de las empresas. En este sentido, la CRA considera que la revisión tarifaria debe contener señales para que las empresas se vuelvan más activas en el control de los niveles de pérdidas de agua. Por lo tanto, una señal en pérdidas máximas admisibles más ajustada a óptimos económicos, puede ayudar no sólo a las empresas a buscar soluciones más estructurales en la gestión de sus pérdidas, sino a que los usua-

rios no perciban aumentos en las tarifas derivadas del costo evitado de nuevas inversiones, tema que es estudiado en el tercer artículo.

El cuarto artículo de la revista está dedicado a la remuneración de las inversiones en el sector de acueducto y alcantarillado. La Comisión considera que la remuneración de las inversiones es un aspecto esencial de todo esquema tarifario en la medida en que permite cubrir el costo de oportunidad de las principales fuentes de financiación de las inversiones, sin perder de vista que debe ser equilibrada.

Finalmente, se presenta el tema de acceso universal a los servicios de agua potable y saneamiento básico. En Colombia, como en otros países en desarrollo, existen sectores importantes de la población que, debido a condiciones socio-económicas y geográficas, no están

dispuestos o no están en capacidad de pagar el costo de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado o simplemente no tienen acceso a estos servicios. En este sentido, y teniendo en cuenta las consideraciones de la Ley en relación con el acceso al servicio, se han formulado políticas y se han implementado instrumentos tendientes a alcanzar el servicio universal en el sector. Colombia ha desarrollado uno de los esquemas de política más completos para el acceso universal a servicios de infraestructura, incluyendo los servicios de agua potable y saneamiento.

Consideramos que esta revista, será de gran utilidad para los diferentes agentes del sector, así como para el regulador para generar una etapa de discusión para definir la línea o las bases para la Revisión Quinquenal de la Fórmula Tarifaria en beneficio de toda la sociedad.

JOSÉ FRANCISCO MANJARRÉS IGLESIAS  
Director Ejecutivo

# REVISIÓN DE LOS MODELOS DE EFICIENCIA INTRODUCIDOS MEDIANTE LA RESOLUCIÓN CRA 287 DE 2004<sup>1</sup>

**Daniel Revollo Fernández. Asesor Subdirección Técnica.**  
**Juan Andrés Ramírez. Asesor Subdirección Técnica.**

## RESUMEN

Dentro del proceso de revisión de bases del marco tarifario, es necesario evaluar el desempeño de los modelos de eficiencia introducidos a través de la Resolución CRA 287 de 2004, con el objetivo de profundizar los incentivos asociados a estas medidas. Es posible mejorar el desempeño de la metodo-

logía DEA mediante el ajuste de los supuestos empleados en su formulación, específicamente los relacionados con la inclusión, exclusión y modificación de variables. Para validar estos resultados es necesario comparar los resultados obtenidos con los generados mediante la aplicación de metodologías alternativas.

**Palabras Clave: Análisis Envoltante de Datos (DEA), Análisis de Fronteras Estocástica (SFA), Acueducto y Alcantarillado.**

<sup>1</sup> Las opiniones del autor se hacen a título personal y no comprometen en nada la posición institucional de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

## I. INTRODUCCIÓN

La capacidad que tiene la metodología DEA, definida por la Resolución CRA 287 de 2004, para identificar ineficiencias relacionadas con la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado puede ser mejorada mediante la reformulación de las variables consideradas, de forma que las señales económicas derivadas del modelo sean profundizadas y se evite la transferencia de posibles ineficiencias a los suscriptores.

Dentro de los estudios de diagnóstico e impacto de la metodología tarifaria (CRA, 2006), se evidencia que la metodología DEA tuvo un efecto significativo en la homogenización de los costos de referencia de los diferentes prestadores de los servicios de acueducto y alcantarillado. La introducción de estos modelos permitió reducir de manera significativa la variación en los costos de referencia a lo largo de la muestra de prestadores, lo que supone una mejor aproximación a los costos reales involucrados de prestación del servicio.

Este efecto se explicó en gran medida por la depuración de la información, lo cual constituyó un avance en términos de su cantidad y calidad, disponible tanto para los organismos de regulación como los de control y vigilancia. Sin embargo, la capacidad real del modelo para identificar ineficiencias no ha sido explorada con profundidad. En consecuencia es necesario adelantar análisis específicos sobre el desempeño de modelos DEA, con el objetivo de mejorarlos, de forma que se cuente con una mayor capacidad para detectar ineficiencias asociadas a la prestación del servicio.

El trabajo es relevante dentro del desarrollo de las bases de la revisión tarifaria quinquenal de los servicios de acueducto

y alcantarillado. En este sentido, los ajustes propuestos sobre el modelo DEA usado por la Comisión, tiene como objetivo identificar con mayor exactitud los costos inherentes de la prestación del servicio, lo que se constituye en un avance dentro del desarrollo de la regulación, y en última instancia, permitirá el mejoramiento del bienestar social.

*¿Cuál es el objetivo general?*

Mejorar el desempeño del modelo DEA en lo que respecta a la identificación de ineficiencias en las empresas de servicios públicos de acueducto y alcantarillado, mediante la reformulación de las variables consideradas, de forma que las señales económicas derivadas del modelo sean profundizadas y se evite la transferencia de dichas ineficiencias a los suscriptores.

*¿Cuáles son los objetivos específicos?*

- Evaluar el desempeño de la metodología DEA, en su formulación actual.
- Evaluar posibles variaciones al modelo actual, mediante la eliminación y/o reformulación de variables. Esta evaluación tendrá en cuenta los criterios de sensibilidad e integralidad, desarrollados en la Revisión de la Literatura.
- Validar la consistencia de los resultados a través de modelos alternativos como el Análisis de Frontera Estocástica (SFA).
- Proponer modificaciones al modelo actual, de forma que se mejore su capacidad para identificar ineficiencias de manera adecuada, sin generar una carga adicional sobre los reportes de información que presentan actualmente los prestadores.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A continuación se presenta un recuento de las referencias que se tuvieron en cuenta dentro del presente documento, tanto en el análisis de desempeño, como en la formulación de las posibles modificaciones al modelo DEA, aplicado a los servicios de acueducto y alcantarillado.

### 2.1 ¿QUÉ SE HA HECHO SOBRE EL TEMAY EL MÉTODO A NIVEL INTERNACIONAL?

Experiencias a nivel internacional que evalúen el desempeño de las metodologías de eficiencia en la Regulación.

#### BENCHMARKING EN GENERAL

Burns P., Jenkins C., Riechmann C., (2005). The role of benchmarking for yardstick competition. *Utilities Policy*, 13, (4), 302-309.

Cooper W. W., Seiford L. M., Thanassoulis E., Zanakis S. H., (2004). DEA and its uses in different countries. *European Journal of Operational Research*, 154, (2), 337-344.

Dassler T., Parker D., Saal D.S., 2006. Methods and trends of performance benchmarking in UK utility regulation. *Utilities Policy*, 14, (3), 166-174.

Jamasb T., Pollitt M., 2002. International Utility Benchmarking & Regulation: An Application to European Electricity Distribution Companies. *Energy Policy*, 31, (15), 1609-1622.

Marques R.C., (2006). A yardstick competition model for Portuguese water and sewerage services regulation. *Utilities Policy*, 14, (3), 175-184.

Thanassoulis E., 2000. DEA and its use in the regulation of water companies. *European Journal of Operational Research*, 127, (1), 1-13.

Tupper H. C., Resende M., (2004). Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewage sector: an empirical study. *Utilities Policy*, 12, (1), 29-40.

#### DESEMPEÑO DE METODOLOGÍAS DEAY MEDIDAS DE CONSISTENCIA ENTRE METODOLOGÍAS DE BENCHMARKING

Allen R., Thanassoulis E., (2004). Improving envelopment in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 154, (2), 363-379.

Bauer P.W., Berger A.N., (1998). Consistency Conditions for Regulatory Analysis of Financial Institutions: A Comparison of Frontier Efficiency Methods. *Journal of Economics and Business*, 50, (1), 85-114

Berg S., Lin C., (2006). Consistency in Performance Rankings: The Peru Water Sector. Documento de Trabajo: Public Utility Research Center Working Paper Sector-Specific Studies. Recuperado el 7 de Septiembre de 2007, URL: [http://bear.cba.ufl.edu/centers/purc/publications/documents/0509\\_Berg\\_Consistency\\_in\\_Performance.pdf](http://bear.cba.ufl.edu/centers/purc/publications/documents/0509_Berg_Consistency_in_Performance.pdf).

Coelli T., Perelman S., 1999. A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways. *European Journal of Operational Research*, 117, (2), 326-339.

Cooper W. W., Li S., Seiford L. M., Tone K., Thrall R. M., Zhu J., (2001). Sensitivity and Stability Analysis in DEA: Some Recent Developments. *Journal of Productivity Analysis*, 15, 217-246.

Cooper W.W., Seiford L.M., and Zhu J. (2004). *Handbook on Data Envelopment Analysis*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Hughes A., Yaisawarng S., (2004). Sensitivity and dimensionality tests of DEA efficiency scores. *European Journal of Operational Research*, 154, (2), 410–422.

Maniadakis N., Thanassoulis E., (2004). A cost Malmquist productivity index. *European Journal of Operational Research*, 154, (2), 396–409.

Romero C.A., Margaretic P., (2006) ADERASA: Estudio de Benchmarking de empresas de agua y saneamiento de Latinoamérica sobre su base de datos. Documento de Trabajo: Proyecto de Benchmarking de ADERASA – GRTB. Recuperado el 6 de Agosto de 2007, del URL: [www.aderasa.org/aa/img\\_upload/aa8031921c9ec43055259c2b7fd228c2/Resumen\\_Ejecutivo\\_Estudio\\_Benchmarking.pdf](http://www.aderasa.org/aa/img_upload/aa8031921c9ec43055259c2b7fd228c2/Resumen_Ejecutivo_Estudio_Benchmarking.pdf).

Rossi M. A., Ruzzier C.A., (2000). On the regulatory application of efficiency measures. *Utilities Policy*, 9, (2), 81–92.

Seiford L. M., Zhu J., (1998). Sensitivity analysis of DEA models for simultaneous changes in all the data. *Journal of the Operational Research Society*, 49, (10), 1060–1071.

Zhu J. (2003). *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: DEA with Spreadsheets and DEA Excel Solver*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

## 2.2 ¿QUÉ SE HA HECHO SOBRE EL TEMAY EL MÉTODO A NIVEL NACIONAL?

Los antecedentes sobre la formulación y el análisis de los modelos de eficiencia se cuentan en las siguientes resoluciones y documentos de análisis:

\*Resolución CRA 287 de 2004

\*Resolución CRA 318 de 2005

\*Resolución CRA 327 de 2005

\*Resolución CRA 346 de 2005

\*Castro S., Martínez J.J., (2006). Implementación del Modelo de Eficiencia Comparativa DEA en los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia. *Regulación*, 10, 93–124.

\*Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (2006). Impactos Regulatorios en los sectores de acueducto, alcantarillado y aseo. Recuperado el 3 de septiembre de 2007, de URL: [http://www.cra.gov.co/portall/www/resources/jsn\\_estudio%20de%20impactos%20regulatorios.pdf](http://www.cra.gov.co/portall/www/resources/jsn_estudio%20de%20impactos%20regulatorios.pdf).

## ESPECIFICACIÓN DEL MODELO ACTUAL RESOLUCIONES CRA 287 DE 2004 Y 346 DE 2005

La metodología tarifaria definida mediante la Resolución CRA 287 de 2004, introdujo factores que pueden ajustar los costos administrativos y operativos de un prestador, los cuales buscan corregir las posibles ineficiencias en que éste incurre. Los factores de eficiencia son construidos a partir de los puntajes determinados aplicando la metodología de Análisis Envoltura de Datos (DEA). La forma como se aplican estas medidas de eficiencia a los costos administrativos (CA) y costos operativos (CO) reportados por un prestador, se especifica en los artículos 5 y 18 de la citada Resolución. De igual manera, los modelos para determinar el  $P_{DEA}$  asociado al CA y el CO se definen en los artículos 8 y 20, y su especificación y orientación se describe en los Anexos 1 y 2, respectivamente (Resolución CRA 287 de 2004).

Con el objetivo de obtener unidades comparables (DMU's) más homogéneas, la muestra de prestadores se dividió en dos grupos según tamaño: Mayores de 25.000 suscriptores y empresas que tuvieran entre 2.500 y 25.000 suscriptores. En cuanto a la orientación del modelo, la metodología definida por la CRA busca maximizar el output, el cual está representado por el inverso de los costos administrativos u operativos, según sea el caso. Las variables, así como el tratamiento para su incorporación en cada uno de los modelos, de costos administrativos y operativos, se presentan en la Tabla 1 y Tabla 2, respectivamente.

**TABLA 1. VARIABLES DEA – COSTOS ADMINISTRATIVOS**

DESCRIP.	VARIABLE	TRATAMIENTO
Output	Costos Administrativos	$(I/CA)*1.000.000$
Input	Suscriptores Acueducto	$(I/SUSCP.ACUC)*1.000.000$
Input	Suscriptores Alcantarillado	$(I/SUSCP.ALC)*1.000.000$
Input	Suscriptores con Micromedición	$(I/SUSCP.MICROMED)*1.000.000$
Input	Suscriptores Estratos 1 y 2	$(I/SUSCP.EIyE2)*1.000.000$
Input	Suscriptores Industriales y Comerciales	SUSCP. Indust. y C/ciales
Input	Quejas y Reclamos por Facturación a favor del usuario	Q y R acotada
Input	Densidad	Densidad

Fuente: Resolución CRA 346 de 2005

**TABLA 2. VARIABLES DEA – COSTOS OPERATIVOS**

DESCRIP.	VARIABLE	TRATAMIENTO
Output	Costos Operativos	$(I/CO)*1.000.000$
Input	m <sup>3</sup> Producidos	$(I/m^3\_Prod)*1.000.000$
Input	m <sup>3</sup> Vertidos	$(I/m^3\_Vert)*1.000.000$
Input	m <sup>3</sup> Bombeados	$(I/m^3\_Bomb)*1.000.000$
Input	Número Efectivo de Plantas	$(I/Num\_Efect)*1.000.000$
Input	Tamaño de Red	$(I/m^3\_Red)*1.000.000$
Input	Calidad de Agua	Índice de Calidad

Fuente: Resolución CRA 346 de 2005.

La orientación del modelo requiere que las variables que afectan a los costos de manera proporcional sean invertidas, mientras que aquellas que tienen un efecto inverso sobre los costos deben ser introducidas sin ninguna transformación.

En suma, dentro de la nomenclatura DEA, el modelo puede ser clasificado como un modelo output oriented, con rendimientos constantes a escala.

Adicionalmente, es necesario señalar que la Resolución CRA 346 de 2005, definió

los valores de la muestra y la especificación final de los modelos tanto para costos administrativos como operativos. Esta muestra fue construida con base en la información suministrada por la empresas al Sistema Único de Información (SUI), la cual fue depurada y homogenizada de acuerdo con los criterios contenidos en la Resolución CRA 287, de forma que se obtuvieran DMU's comparables. El resultado fue una muestra con las características que se presentan en la Tabla 3.

**TABLA 3. DMU'S INCLUIDAS EN LA MUESTRA DEL MODELO DEA – RESOLUCIÓN CRA 346 DE 2005**

SUSCRIPTORES	DMU'S CA	DMU'S CO
[2.500,25.000)	20	23
[25.000, ∞)	12	12

Fuente: Resolución CRA 346 de 2005.

Teniendo en cuenta que se trataba de un ejercicio innovador para el Sector, y las dificultades presentadas dentro del proceso de implementación, la Comisión optó por adoptar un modelo conservador, en el sentido que la relación entre el número de variables consideradas y el número DMU's es lo suficientemente elevada, como para suponer que la exigencia del modelo será moderada, y sólo identificará ineficiencias

en aquellos casos donde están sean realmente notorias. De esta forma, la reducción del número de variables consideradas por el modelo, o el incremento en el número de unidades comparables, podría ser equivalente a la introducción un factor de productividad, asociado al incremento en el nivel de exigencia del modelo.

### 3. MARCO TEÓRICO

La condición monopolística de los prestadores de los servicios de acueducto y alcantarillado genera incentivos a la adopción de asignaciones ineficientes, transfiriendo estas ineficiencias a los suscriptores de dichos servicios. La introducción de medidas de eficiencia por comparación, busca reducir estos incentivos. En la medida que se identifiquen estas ineficiencias, el regulador podrá adoptar las medidas necesarias para evitar que sean transferidas a los suscriptores.

Los modelos utilizados en la regulación de empresas por comparación, y que pueden hacer evidente la necesidad de realizar ajustes sobre la formulación del Modelo DEA que actualmente se utiliza en la regulación de los servicios de acueducto y alcantarillado, incluyen:

- Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA);
- Análisis Envoltente de Datos (DEA);
- Indicadores de gestión de productividad y de costos unitarios basados en estadísticas descriptivas de los costos de operación y calidad (Ej., Factor de productividad total); y
- Modelos de ingeniería derivados de estimaciones sobre operaciones eficientes diseñadas por ingenieros (Ej., plantas de tratamiento de aguas residuales).

El presente estudio se concentrará en establecer y mejorar la capacidad que tiene el Modelo DEA para identificar las ineficiencias en que incurre un prestador. En este sentido, el análisis se concentrará en el modelo de análisis envoltente de datos, pero utilizará modelos de frontera estocástica para comprobar la validez y consistencia de las conclusiones.

- Análisis de Regresión (AR): Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS) y Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos (COLS);

## 4. METODOLOGÍA

El primer paso contemplado dentro de la metodología es **evaluar el desempeño que tiene el modelo DEA definido mediante las Resoluciones CRA 287 de 2004 y 346 de 2005**. En esta instancia, el análisis se concentrará en la muestra de empresas que forman parte de la Resolución CRA 346 de 2005.

El análisis de desempeño tendrá en cuenta los siguientes elementos:

- Identificación de Empresas Ineficientes.
- Puntajes asignados.
- Definición de mejoras potenciales.
- Participación de los productos o insumos en la determinación de los puntajes de eficiencia.
- Empresas que actúan como referencia.
- Índice de sensibilidad

Este último elemento, se refiere a la sensibilidad del modelo teniendo en cuenta el efecto que tienen los cambios en los datos, manteniendo la misma estructura del modelo vigente. Este índice de sensibilidad, es estimado utilizando el software desarrollado por Zhu,

que evalúa las máximas reducciones (incrementos) en el output (input) que permiten a la unidad seguir siendo considerada eficiente.

Posteriormente, para **evaluar posibles variaciones al modelo DEA actual**, se construirán **diferentes escenarios**, en los cuales, a partir de las condiciones actuales, definidas en la citada normatividad, **se plantearán modificaciones en la cantidad de unidades, así como en la cantidad y la formulación variables**. De esta forma, se podrá establecer la consistencia del modelo, medida a través de su sensibilidad – entendida como la forma en la cual los resultados del modelo se ven afectados por los cambios en la formulación del mismo, sin modificar los datos observados<sup>2</sup> – y su integralidad – definida como la capacidad que tiene el modelo para identificar ineficiencias que puedan ser efectivamente justificadas por el comportamiento de los prestadores, y no que sean explicadas simplemente por la dimensionalidad del modelo –.

De esta forma se plantea abordar la sensibilidad teniendo en cuenta tres aspectos:

CRITERIO	MEDICIÓN
i) La relación que existe entre las unidades (su ubicación dentro del Ranking)	Coefficiente de correlación de Spearman y el coeficiente de Friedman
ii) Los puntajes individuales para cada unidad	Cambios observados en la desviación estándar de los puntajes establecidos mediante el modelo.
iii) La identificación de parejas de comparación adecuadas.	Criterio de expertos

Los dos primeros constituyen criterios cuantitativos, en los cuales se utilizan parámetros estadísticos construidos a partir de la muestra de datos que permiten rechazar, o no, las hipótesis planteadas sobre la estabilidad de los resultados del modelo.

El tercer criterio es cualitativo, y se basa en la opinión del grupo de trabajo, sobre la idoneidad de las parejas identificadas por el modelo; es decir si las parejas establecidas por el modelo son en efecto comparables o existen otro tipo de consideraciones que hacen impráctica esta comparación.

<sup>2</sup> Como se señaló antes, las variaciones en los datos manteniendo la estructura actual del modelo, serán analizadas a través del índice de sensibilidad.

Por su parte, en lo que respecta a la integralidad del modelo, se busca responder si las reducciones en los puntajes de eficiencia observadas al eliminar alguna de las variables están asociados únicamente a dicha eliminación, o por el contrario capturan efectivamente las ineficiencias derivadas de los datos particulares presentados por las unidades consideradas. En tal sentido, se consideró realizar diferentes estimaciones de puntajes de eficiencia con todos los modelos posibles que se pueden lograr establecer con las diferentes variables. De igual forma, la construcción de los diferentes modelos permite identificar que modelos pueden ser importantes de analizar a mayor profundidad con la finalidad de incrementar la exigencia de ellos y rechazar otros que económicamente no son significativos.

En cuanto a la validación de los resultados obtenidos a través de la metodología DEA, es posible señalar que ésta se realizará mediante la aplicación de modelos alternativos de benchmarking; específicamente hacien-

do uso de Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA). Igualmente, es necesario considerar, dentro de las mediciones de consistencia del modelo, los indicadores de gestión que han sido publicados por diferentes empresas.

Este enfoque permite aprovechar la evidencia derivada de la aplicación de la metodología tarifaria. Las limitaciones son las propias del modelo, relacionadas con su capacidad para identificar y explicar las ineficiencias asociadas a la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado.

#### *ACTIVIDADES ESPECÍFICAS:*

- Evaluación Modelos DEA – Metodología Actual.
- Validar la consistencia de los resultados usando SFA.
- Evaluación de las posibles variaciones sobre el modelo.
- Formulación de una propuesta sobre las modificaciones del modelo.

## 5. DATOS

---

Los datos utilizados incluyen:

- La información suministrada por las empresas para la aplicación de la metodología tarifaria.
- Información SUI y Movet

La información se encuentra disponible a través de la página Web del SUI y el reporteador de datos de la CRA.

## 6. RESULTADOS

A continuación se presenta la evaluación sobre el desempeño de la Metodología aplicada dentro del marco tarifario vigente. Posteriormente se evalúan posibles cambios en el número y la formulación de las variables, desde una perspectiva que busca evaluar la sensibilidad, integralidad y consistencia del modelo original. Estos resultados son comparados con los obtenidos mediante la aplicación de la metodología SFA, y el resultado de este análisis se presenta en la sección 6.3. Finalmente, se discuten los resultados y se proponen posibles modificaciones sobre el modelo DEA definido en las Resoluciones CRA 287 y 346.

### 6.1 VARIABLES ADMINISTRATIVAS

Como se indicó antes (sección 2.2), se cuenta con un modelo independiente para costos administrativos y operativos. Ambos modelos se encuentran orientados a la maximización del producto dado un nivel de insumos fijo, para cada unidad<sup>3</sup>, y serán analizados de manera independiente en la presente y en la siguiente sección, respectivamente. De igual manera, el análisis considerará por separado los dos grupos de prestadores definidos por la Resolución CRA 287 de 2004; Grandes prestadores - con más de 25.000 suscriptores - y prestadores medianos - entre 2.500 y 25.000 -.

#### 6.1.1 EVALUACIÓN MODELOS DEA - METODOLOGÍA

ACTUAL: ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS USANDO EL MODELO DEA.

Las estadísticas descriptivas de las variables administrativas para los dos grupos de presta-

dores, con base en la información publicada en la Resolución CRA 346 de 2005, se presentan en el Anexo I.

#### VARIABLES ADMINISTRATIVAS - RESOLUCIÓN CRA 346 DE 2005: EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES

En cuanto a las variables administrativas, se observa que el puntaje promedio, considerando todas las unidades de la muestra, es de 90,91%. Cuando se consideran solamente las unidades ineficientes, ocho en total (el 66,7% de la muestra), este valor se reduce a 86,37% - ver Tabla 4 -.

Se debe tener en cuenta que clasificar una empresa como ineficiente, implica la existencia de al menos una unidad que con la combinación de insumos óptima determinada para la empresa analizada es capaz de obtener una mayor cantidad de producto.

De acuerdo con Col y Blasco (2006)<sup>4</sup>, si se considera que la condición de eficiencia del modelo DEA en forma multiplicativa puede ser expresada como  $w_0^* = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0} = 1$  la existencia de una unidad ineficiente implica que para una puntuación de eficiencia  $w_0^* < 1$

existirá al menos una DMU que satisfará la restricción  $\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} = \sum_{i=1}^m \delta_i x_{ij} = 1$ , utilizan-

<sup>3</sup> Al maximizar el output  $I/CA$  - o  $I/CO$  -, se plantea un problema equivalente a la minimización de costos.

<sup>4</sup> Se seguirá la nomenclatura utilizada por estos autores.

do los mismos valores de  $(u^*, \delta^*)$  óptimos definidos para la unidad ineficiente; la existencia de estas Unidades eficientes es la que fuerza a la Unidad 0 a ser ineficiente.

De acuerdo con esta aproximación, la unidad promedio debería aumentar en un 9,09% la producción de output, dado el mismo nivel de insumos (incremento radial), para ser clasificada como eficiente.

Cuando se utiliza el modelo DEA en la forma envolvente, una Unidad es ineficiente si es posible obtener una combinación de unidades que funcione mejor; para nuestro caso que produzca una mayor cantidad de producto a partir del mismo nivel de insumos. Además de la eficiencia definida en los términos señalados antes, en el sentido que se puede identificar una unidad, o combinación de unidades, que obtiene una mayor producción a partir del mismo nivel de insumos, la aproximación de la envolvente permite obtener los **valores de holgura**, que implican posibles reducciones o incrementos en inputs o en output individuales, para un mismo nivel producto o insumos, respectivamente. El criterio de eficiencia en este caso implicaría que la Unidad tuviera un valor de  $\theta^* = 1$  y todas las holguras iguales a cero.

Para el caso de la muestra definida por la Resolución CRA 346 de 2005 en todas las empresas en donde se evidencia ineficiencias, se encuentran valores de holgura para los inputs; en todos los casos se identifican holguras para cinco inputs, los cuales varían según la unidad considerada. Sin em-

bargo, el valor de estas holguras en ningún caso es significativo (menores de 0,5%).

La Tabla 4 también permite observar las mejoras potenciales correspondientes a cada variable. Esta **mejora potencial** debe ser entendida como la reducción en un input específico, o el incremento en un output, que debe experimentar una Unidad ineficiente para convertirse en eficiente. Estos valores objetivo están determinados con base en los puntos de proyección para la unidad analizada  $(\hat{x}_{r0}, \hat{y}_{i0})$ , los cuales son determinados a partir de las unidades de referencia. La participación de estas unidades se discutirá con mayor detalle más adelante. Por lo pronto, es posible indicar que estos puntos de proyección se construyen como la combinación lineal de los insumos o productos registrados por las unidades de referencia, ponderados por la contribución asignada a cada una de dichas unidades ( $\lambda$ ), la cual es calculada mediante el modelo en su forma envolvente. De forma aritmética se puede plantear como:

$$\left( \hat{x}_{r0} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* X_{rj}, \hat{y}_{i0} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* Y_{ij} \right)$$

Estas mejoras potenciales se refieren específicamente a las ocho unidades en las cuales se presentan ineficiencias. Teniendo en cuenta estas unidades, se encuentra que la mejora potencial promedio en la variable invertida del CA es de 18,1% (ver Tabla 4), es decir que en promedio los costos administrativos deberían ser reducidos en 15,35%<sup>5</sup>. Esta obser-

<sup>5</sup> El equivalente de un incremento del 18,14%, es la reducción de la variable CA hasta un 84,65% de su valor actual.

vación se ve reflejada en la Tabla 5, en la cual se muestran las mejoras potenciales sobre las variables sin transformación. De esta forma, se observa, por ejemplo, que el número de suscriptores micromedidos se debe incrementar en promedio en un 5,86%, mientras que para la densidad se observa que en promedio para las unidades ineficientes el número de suscriptores acueducto por metro cúbico de red de distribución se debe reducir en un 63,59%. En este último caso, se debe interpretar que, dado un nivel de costos, la empresa ineficiente promedio debería tener una densidad 63,59% menor para que ceteris paribus esta empresa registrara un nivel de eficiencia igual al 100%.

La última columna de la Tabla 5 representa, en términos porcentuales, el número de veces en los cuales se ha identificado una mejora potencial para una variable específica. Esta información implica que en la totalidad de los casos (que se refiere específicamente a las DMU que presentan ineficiencias), es posible que una unidad ineficiente se vuelva eficiente mediante la reducción de sus costos administrativos. Por otra parte, sólo el 13% de las empresas ineficientes presentan mejoras potenciales asociadas al número de suscriptores de los estratos 1 y 2.

La participación de los diferentes productos e insumos se presenta en la Tabla 6. Esta información permite una aproximación a la importancia que tiene cada variable en la evaluación de cada una de las unidades de comparación. Esta contribución por variable se establece a partir de los pesos definidos a través del modelo multiplicativo  $(u^*, \delta^*)$ . En consecuencia, la contribución de cada input  $(\delta_i^* x_{i0})$  se compara frente al total  $(\sum_{i=1}^m \delta_i^* x_{i0} = 1)$ . En el caso del output se adopta el mismo enfoque, de forma que, dado que sólo se

cuenta con un output (la variable invertida del CA), su contribución siempre será del 100%.

Este análisis es relevante en la medida que permite validar información sobre el desempeño de las empresas; “los valores de los inputs y outputs virtuales expresan información sobre la importancia que una Unidad atribuye a determinados Input y Output al objeto de obtener su máxima puntuación” (Bossofiante, Dysson y Thanassoulis, 1991; citados por Coll y Blasco, 2006). Adicionalmente, en la medida que un input tenga una mayor contribución es posible señalar que una reducción en dicho input tendrá un mayor impacto sobre la medida de eficiencia.

Cuando se analizan los resultados de la Tabla 6 se observa que la variable que tiene una mayor participación promedio es suscriptores de estratos 1 y 2 (32,4%), seguida por los suscriptores de alcantarillado (29,6)<sup>6</sup>. De acuerdo con los resultados presentados en esta tabla, las contribuciones de las variables quejas y reclamos facturados, densidad y suscriptores industriales y comerciales son inferiores al 5%.

En todos los casos la eficiencia de cada una de las unidades se encuentra definida por dos insumos, con excepción de Aguas de Manizales, en la cual solamente la variable suscriptores con micromedición contribuye a la definición del puntaje de eficiencia. En este sentido, la Tabla 7 presenta en términos porcentuales la frecuencia en la cual una variable contribuye a la construcción del puntaje de eficiencia. De esta forma, la variable suscriptores de estratos 1 y 2 es la que aparece de manera más recurrente, de forma que contribuye a la formación del puntaje de eficiencia en el 75% de los casos.

Finalmente, en lo que respecta al aporte de las variables a la construcción de los puntajes de eficiencia, la tercera columna de la Tabla 7 permite establecer que en el 33,3% de las unidades, las variables suscriptores con alcan-

6 Mientras no se especifique lo contrario, se debe entender que los valores y tendencias se refieren a las variables con el tratamiento descrito en la sección 2.2. para su incorporación al modelo

tarillado y suscriptores con micromedición son las que presentan una mayor preponderancia. Así mismo, es posible señalar que sólo cuatro

de las siete variables consideradas aparecen como prioritarias en la determinación del puntaje de eficiencia de alguna de las unidades.

**TABLA 4. PUNTAJE Y MEJORAS POTENCIALES - VARIABLES ADMINISTRATIVAS**

UNIT NAME	SCORE	INV_CA	INV_SC.ALC	INV_SC.MICRO	INV_SC.EI Y 2	SC.INDYCOM	QYR_FACT	DENSIDAD
ACUAVIVA S.A. E.S.P.	100.00	0.0	0.0	0.0	63.3	0.0	36.7	0.0
AA POPAYAN	100.00	41.7	0.0	0.0	58.3	0.0	0.0	0.0
AGUAS DE MANIZALES	100.00	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACUAGYR	100.00	0.0	97.7	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0
VIRTUAL BMANGA	99.40	0.6	80.6	0.0	19.4	0.0	0.0	0.0
EAA BOGOTA	98.75	1.3	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0
EMCARTAGO	91.24	9.6	0.0	0.0	86.6	13.4	0.0	0.0
EPM	91.20	9.6	0.0	54.0	46.0	0.0	0.0	0.0
EMCALI	88.53	13.0	83.5	0.0	16.5	0.0	0.0	0.0
AYA DE PEREIRA	86.17	16.1	0.0	72.2	27.8	0.0	0.0	0.0
ACUACAR	68.27	46.5	0.0	0.0	55.3	0.0	0.0	0.0
SERA QA	67.38	48.4	93.1	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0
Promedio	86.37	18.1	29.6	18.9	32.4	1.7	3.3	-63.6

\*Este promedio se refiere a las seis unidades que resultan ineficientes.

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 5. MEJORAS POTENCIALES EN LAS VARIABLES ADMINISTRATIVAS SIN TRANSFORMACIÓN**

VARIABLE SIN TRANSFORMACIÓN	MEJORA POTENCIAL	% MEJORAS EN UNIDADES INEFICIENTES
CA	-15,35%	100%
Sc.Acu	4,03%	75%
Sc.Alc	3,90%	63%
Sc. Micro	5,86%	75%
Sc. EI y E2	0,04%	13%
Sc. IndyCom	-67,31%	75%
QyR_Fact	-65,09%	100%
Densidad	-63,59%	100%

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 6. CONTRIBUCIONES DEL INPUT  
- VARIABLES ADMINISTRATIVAS**

UNIT NAME	SCORE	INV_SC.ACU	INV_SC.ALC	INV_SC.MICRO	INV_SC.EI Y 2	SC.INDYCOM	QYR_FACT	DENSIDAD
ACUAVIVA S.A. E.S.P.	100.00	0.0	0.0	0.0	63.3	0.0	36.7	0.0
AA POPAYAN	100.00	41.7	0.0	0.0	58.3	0.0	0.0	0.0
AGUAS DE MANIZALES	100.00	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACUAGYR	100.00	0.0	97.7	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0
VIRTUAL BMANGA	99.40	0.0	80.6	0.0	19.4	0.0	0.0	0.0
EAA BOGOTA	98.77	84.7	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0
EMCARTAGO	91.24	0.0	0.0	0.0	86.6	13.4	0.0	0.0
EPM	91.21	0.0	0.0	54.0	46.0	0.0	0.0	0.0
EMCALI	88.53	0.0	83.5	0.0	16.5	0.0	0.0	0.0
A Y A DE PEREIRA	86.17	0.0	0.0	72.2	27.8	0.0	0.0	0.0
ACUACAR	68.27	44.7	0.0	0.0	55.3	0.0	0.0	0.0
SERA QA	67.38	0.0	93.1	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0
Promedio	-	14.3	29.6	18.9	32.4	1.7	3.3	0.0

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 7. RANKING DE INPUTS DE ACUERDO CON SU CONTRIBU-  
CIONES A LA DEFINICIÓN DE EFICIENCIA – MUESTRA 346, VARIABLES  
ADMINISTRATIVAS**

INPUT	FRECUENCIA DE CONTRIBUCIÓN (%)	FRECUENCIA DE CONTRIBUCIÓN MÁS IMPORTANTE (%)
INV_Sc.ACU	25,0%	8,3%
INV_Sc.ALC	33,3%	33,3%
INV_Sc.MICRO	25,0%	25,0%
INV_Sc.EI Y 2	75,0%	33,3%
Sc.INDyCOM	16,7%	0,0%
QyR_Fact	16,7%	0,0%
Densidad	0,0%	0,0%

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

En relación con la contribución de las variables, es importante tener en cuenta la correlación lineal existente entre las variables que actúan como *inputs* y *output*, en este caso el inverso de los costos administrativos. Estos resultados se presentan en la Tabla 8.

El efecto que se observa es que en la medida que las variables presentan una relación lineal con respecto a los costos administrativos, presentan una mayor contribución a la determinación del puntaje de eficiencia.

**TABLA 8. RELACIÓN LINEAL ENTRE LAS VARIABLES Y EL CA, Y SU EFECTO EN LA PARTICIPACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL P<sub>DEA</sub>**

VARIABLE	CONTRIBUCIÓN PROMEDIO PDEA	VALOR ABSOLUTO DE R <sup>2</sup> CA
INV_Sc.ACU	12,64	0,96
INV_Sc.ALC	26,18	0,97
INV_Sc.MICRO	22,62	0,95
INV_Sc.EI Y 2	33,32	0,96
Sc.INDyCOM	1,34	0,67
QyR_Fact	3,90	0,72
Densidad	0,00	0,59

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

En cuanto a la **participación de las parejas de comparación** se cuenta con diferentes dimensiones: i) Número de veces que aparece como referencia; ii) Número de DMU's utilizadas para la conformación del conjunto de referencia; iii) Aporte de cada par a la sumatoria ( $\sum\lambda$ ); iv) Contribución de cada unidad del conjunto de referencia al valor objetivo de un input ó output; v) Comparación con las unidades del conjunto de referencia.

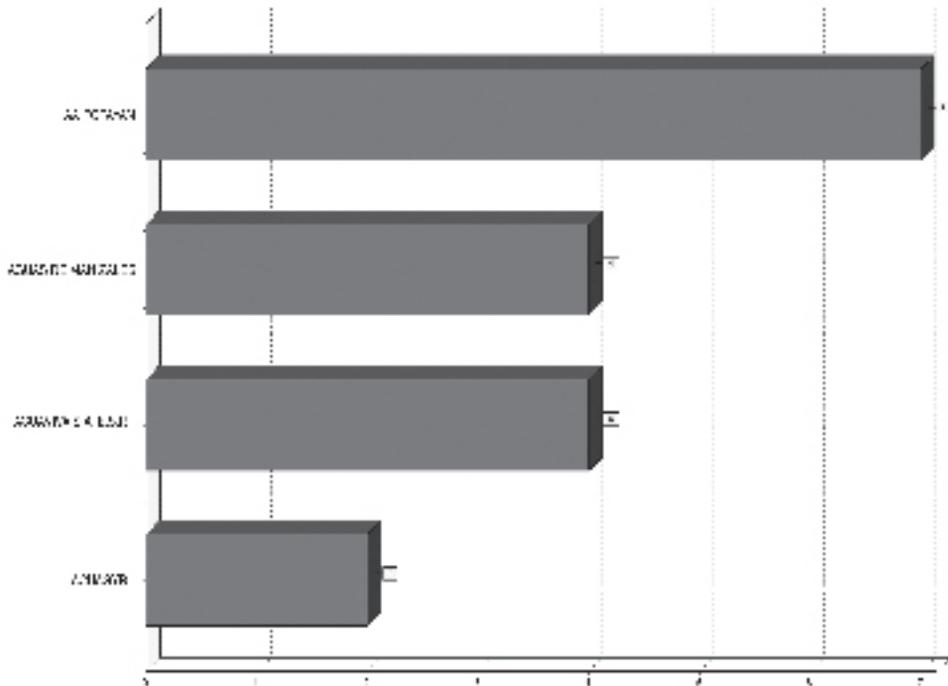
Los resultados relacionados con las **tres primeras** se observan en la Tabla 9. En este sentido, se observa que las empresas AA de Popayán (siete veces), Aguas de Manizales (cuatro veces) y ACUAVIVA S.A E.S.P., son las empresas referenciadas con mayor frecuencia. La distribución de frecuencia de referencia se presenta igualmente en el Gráfico 1.

**TABLA 9. PARTICIPACIÓN DE LAS PAREJAS DE COMPARACIÓN: ADMINISTRATIVAS - MUESTRA 346**

UNIT NAME	S $\lambda$	PAR 1	$\lambda_1$	PAR 2	$\lambda_2$
ACUAVIVA S.A E.S.P.	1,000	ACUAVIVA S.A E.S.P.	1,000		
AA POPAYAN	1,000	AA POPAYAN	1,000		
ACUACAR	0,384	ACUAVIVA S.A E.S.P.	0,238	AA POPAYAN	0,147
AGUAS DE MANIZALES	1,000	AGUAS DE MANIZALES	1,000		
EAA BOGOTA	0,051	AA POPAYAN	0,012	AGUAS DE MANIZALES	0,039
A Y A DE PEREIRA	0,586	AA POPAYAN	0,424	AGUAS DE MANIZALES	0,163
ACUAGYR	1,000	ACUAGYR	1,000		
EMCALI	0,116	AA POPAYAN	0,105	AGUAS DE MANIZALES	0,011
EMCARTAGO	0,883	ACUAVIVA S.A E.S.P.	0,219	ACUAGYR	0,664
SERA QA	0,937	AA POPAYAN	0,234	ACUAGYR	0,703
EPM	0,063	ACUAVIVA S.A E.S.P.	0,001	AA POPAYAN	0,062
VIRTUAL BMANGA	0,400	AA POPAYAN	0,049	AGUAS DE MANIZALES	0,351

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

**GRÁFICO I. FRECUENCIAS DE REFERENCIA: ADMINISTRATIVAS – MUESTRA 346**



Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Por otra parte, se encuentra que en todas las DMU's ineficientes el número de pares utilizadas en la definición del puntaje de eficiencia es igual a dos. De esta forma, se obtiene, por ejemplo que para el Acueducto de Bogotá, las unidades usadas como referencia son AA Popayán y Aguas de Manizales.

En cuanto a la intensidad de cada par, se observa que, dentro del mismo ejemplo de EAA Bogotá, Aguas de Manizales tiene una mayor participación (alrededor de tres veces más) que AA Popayán dentro de la sumatoria de las intensidades ( $\Sigma\lambda$ ). Sin embargo, este comportamiento no se reproduce de manera homogénea en las demás unidades; existen casos como el de EMCALI en el cual la preponderancia de AA Popayán es significativamente mayor. Adicionalmente, las intensidades de los pares permiten estimar la contribu-

ción de cada unidad del conjunto de referencia a la determinación del valor objetivo de cada input ú output específico, lo que constituye una cuarta dimensión. La fórmula para determinar la contribución de cada uno de los pares al input óptimo  $i$ , es la siguiente:

$$PC_i = \frac{\lambda_1^* \cdot x_{i1}}{\lambda_1^* \cdot x_{i1} + \lambda_2^* \cdot x_{i2}}$$

Donde  $x_{ij}$  se refiere a la cantidad de input  $i$  que utiliza la unidad identificada como par número uno. Cuando se reemplazan estos valores para caso de Bogotá se obtiene la Tabla 10. En este caso se observa la misma tendencia discutida antes, en el sentido que Aguas de Manizales tiene una mayor participación sobre la definición del puntaje de eficiencia, pero se cuenta con una mayor aproximación al efecto específi-

co sobre cada variable. De esta forma, el mayor aporte que realiza Aguas de Manizales a la construcción de una variable objetivo es de 80,22% y corresponde al número de suscriptores industriales y comerciales, mientras que el menor se ubica en 45,74% para la variable Quejas y Reclamos. Como se desprende de este análisis, los valores complementarios definen los aportes mínimos y máximos de AA Popayán.

Como se señaló antes, es importante referenciar estos comportamientos, de forma que aporten validez a la aplicación del modelo. Este tema se desarrollará más adelante en la medida que se cuente con resultados provenientes de otras formas de comparación de alternativas.

**TABLA 10. CONTRIBUCIÓN DE LOS PARES A LA FORMACIÓN DEL VALOR OBJETIVO: ADMINISTRATIVAS - EAA BOGOTÁ**

VARIABLE	CONTRIBUCIÓN	
	AA POPAYÁN	AGUAS DE MANIZALES
INV_CA	31,85%	68,15%
INV_Sc.ACUC	32,64%	67,36%
INV_Sc.ALC	32,86%	67,14%
INV_Sc.MICRO	33,79%	66,21%
INV_Sc.EI Y 2	27,49%	72,51%
Sc.INDYCOM	19,78%	80,22%
QyR_Fact	54,26%	45,74%
Densidad	31,03%	68,97%

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

La última dimensión considerada se refiere a la comparación con las unidades que forman parte del conjunto de referencia. Continuando con el ejemplo de EAA Bogotá, se comparan sus variables con relación a los obtenidos por AA Popayán y Aguas de Manizales. Esta comparación se presenta en la Tabla 11.

**TABLA 11. COMPARACIÓN CON LOS PARES DE REFERENCIA: ADMINISTRATIVAS - EAA BOGOTÁ**

COMPARACIÓN PAR DE REFERENCIA		
VARIABLE	AA POPAYÁN	AGUAS DE MANIZALES
INV_CA	2630%	1778%
INV_Sc.ACUC	2661%	1735%
INV_Sc.ALC	2606%	1681%
INV_Sc.MICRO	2573%	1593%
INV_Sc.EI Y 2	2243%	1868%
Sc.INDYCOM	4%	5%
QyR_Fact	23%	6%
Densidad	83%	58%

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Los porcentajes consignados en esta tabla, toman como referencia el valor presentado por la unidad observada; es decir que todas las variables de la unidad analizada se encuentran normalizadas en el 100%. De esta manera, la Tabla 11 permite relacionar un incremento o reducción porcentual de los input de la unidad definida como par, con una variación porcentual sobre el producto observado para dicha unidad. Es decir que los resultados de esta tabla pueden ser interpretados como elasticidades del producto frente cambios en los insumos. Para Aguas de Manizales, por ejemplo, incrementos del 1735% en INV\_Sc.ACUC, 1681% en INV\_Sc.ALC, etc., estarían generando en su conjunto un incremento del 1778% en INV\_CA.

La complejidad del análisis impide inferir conclusiones de esta estimación. La tendencia que se busca capturar en este caso es si en efecto el incremento de determinados inputs genera un incremento significativamente mayor en el output de los pares de referencia en comparación con el incremento que presenta la unidad observada. Por ejemplo, se observa como para Aguas de Manizales un incremento del 1593% en el input INV\_Sc.MICRO (que en efecto refleja un menor número de suscriptores con micromedición) está asociada – al menos parcialmente – a un incremento del 1778%

en el output (que en efecto refleja un menor valor de CA), lo que implica para Aguas de Manizales una elasticidad de 1,12 entre estas dos variables, mayor a la observada para EAA Bogotá, que se ha definido en 1. Sin embargo, estas comparaciones sólo tienen una connotación puntual y no capturan el efecto de optimización asociado a la aplicación del DEA.

Finalmente, se presentan las consideraciones relacionadas con el **índice de sensibilidad** del modelo. Este enfoque es interesante porque permite evidenciar qué tanto puede cambiar una unidad antes de convertirse en ineficiente. El análisis busca establecer una región de estabilidad, en la cual la empresa siempre será calificada como eficiente.

De esta forma, entre mayor sea el índice de estabilidad la empresa estará en capacidad de incrementar (reducir) en mayor medida uno o varios insumo (output), según sea el caso, sin que esto implique pérdida de eficiencia. Así mismo, cuando el índice de estabilidad sea mayor (menor) que uno, esto indicará que la empresa es eficiente si se trata de un problema orientado a insumos (si se trata de un problema orientado a productos). Por otra parte, existe una región denominada de im-

posibilidad, que implica que incluso bajo cualquier escenario de incremento (reducción) realizado en los inputs (outputs) las empresas mantendrían su condición de eficiencia.

Cuando se realizan pruebas de sensibilidad para posibles cambios en cada uno de los insumos, es decir utilizando una aproximación orientada a la minimización de insumos, se obtienen los resultados presentados en la Tabla 12. De acuerdo con estos resultados se puede señalar, por ejemplo, para que la empresa ACUACAR sea calificada como eficiente tendría que reducir su insumo INV\_Sc. Acu, es decir el inverso del número de suscriptores, multiplicándolo por un factor igual a 0,61. Así mismo, de acuerdo con estos modelos, esta misma variable generaría una condición de imposibilidad, en la cual el insumo podría ser ampliado sin ningún límite y la empresa mantendría su condición de eficiente. Dicho de otra forma, manteniendo constantes todas las demás variables, incluidos los costos, estas empresas podrían reducir de manera indefinida el número de suscriptores de acueducto sin observar ninguna modificación en su calificación de eficiencia. Este comportamiento se observa en empresas como ACUAVIVA S.A., AA POPAYAN, A. MANIZALES Y ACUAGYR (ver Tabla 12).

**TABLA 12. ÍNDICE DE SENSIBILIDAD EN EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES - ANÁLISIS POR VARIABLE**

DMU'S	INV_SC. ACU	INV_SC. ALC	INV_SC. MICR	INV_SC. E1Y2	SC.IND YCOM	QYR FACT	DENSIDAD
ACUAVIVA S.A.	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
AA POPAYAN	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
ACUACAR	0,61	0,49	0,55	0,66	0,04	0,03	0,10
A. MANIZALES	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EAA BOGOTA	0,99	0,96	0,92	0,92	0,00	0,00	0,03
AYA PEREIRA	0,82	0,83	0,81	0,75	0,10	0,04	0,19
ACUAGYR	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMCALI	0,85	0,86	0,82	0,80	0,01	0,00	0,05
EMCARTAGO	0,81	0,88	0,79	0,90	0,65	0,63	0,37
SERA QA	0,61	0,65	0,59	0,62	0,49	0,11	0,49
EPM	0,86	0,87	0,88	0,83	0,00	0,00	0,02
VIRT. BMANGA	0,95	0,99	0,94	0,97	0,10	0,06	0,29
Promedios I	0,81	0,82	0,79	0,81	0,17	0,11	0,19

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. I Promedios simples, utilizando los valores numéricos únicamente.

Como es lógico, la probabilidad de caer en una región de imposibilidad se reduce en la medida en que se introduzca un mayor número de variables; cuando se utiliza un mayor número de variables es más difícil que una empresa mantenga su condición de eficiencia de manera indefinida. Sin embargo, realizar el análisis de sensibilidad para cada una de las variables es relevante porque permite evidenciar que existen variables para las cuales los insumos tendrían que ser reducidos hasta valores extremos; hasta 10 veces por encima del valor original. Es decir, variables para las cuales el índice de sensibilidad es muy bajo, aproximándose a valores cercanos a cero. En este sentido, cuando se observan los índices de sensibilidad promedio para las diferentes variables, se observa, por ejemplo, que en promedio las empresas calificadas como ineficientes deberían reducir en 19% el insumo INV\_Sc. Acu, es decir aumentar en algo más del 20% el número de suscriptores de acueducto. Sin embargo, para variables como las quejas y reclamos facturados, este mismo análisis implicaría una reducción cercana al 90%,

Lo expuesto antes, confirma lo señalado al inicio de esta sección, cuando se analizaron las mejoras potenciales asociadas a cada variable, en el sentido que los cambios que deberían experimentar las variables que tienen entrada directa al modelo - Suscriptores Industriales y Comerciales, Quejas y reclamos y Densidad -, de forma que una empresa cambie su calificación de eficiencia, son muy superiores a los que deben presentarse en las demás variables. Visto de otra forma, dada la poca relevancia que tienen los insumos de entrada directa en el puntaje de eficiencia, es muy difícil que una empresa cambie su condición a partir de reducciones en los mismos.

Esto puede ser evidenciado planteando tres escenarios: En el primero se utiliza la totalidad de las variables para el análisis de sensibilidad, en el segundo se varían únicamente las variables que entran invertidas al modelo y, finalmente, un escenario en el que sólo se consideran las variables de entrada directa, es decir aquellas utilizadas sin ninguna transformación (ver Tabla 13).

**TABLA 13. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES  
ANÁLISIS POR GRUPOS DE VARIABLES**

DMU'S	INPUTS_TOTAL	INPUTS_INV.	INPUTS_DIR.
ACUAVIVA S.A.	1,36	1,38	Infeasible
AA POPAYAN	1,07	1,07	Infeasible
ACUACAR	0,68	0,68	0,10
A. MANIZALES	1,12	1,12	Infeasible
EAA BOGOTA	0,99	0,99	0,03
AYA PEREIRA	0,86	0,86	0,19
ACUAGYR	2,61	Infeasible	6,03
EMCALI	0,89	0,89	0,05
EMCARTAGO	0,91	0,90	0,65
SERA QA	0,67	0,65	0,49
EPM	0,91	0,91	0,02
VIRT. BMANGA	0,99	0,99	0,29
Promedios I	1,09	0,95	0,87
Medianas	0,95	0,91	0,19

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. I  
Las estadísticas son estimadas utilizando los valores numéricos únicamente.

En estos escenarios, el índice de sensibilidad se aplica al grupo de variables analizadas. De esta forma, es posible señalar que, cuando se considera la totalidad de los insumos (como se plantea en el escenario uno) para la empresa ACUAVIVA S.A., por ejemplo, ésta puede incrementarlos hasta por un factor de 1,36 y no obstante mantener su condición de eficiencia. Cuando se analizan los promedios para cada uno de los escenarios de nuevo se hace evidente que se requieren cambios de mayor dimensión en las variables de entrada directa para que una empresa pase a ser calificada como eficiente, situación que se ve con mayor claridad cuando en lugar de los promedios se observan las medianas; en el caso de los inputs de entrada directa este resultado implicaría que para la unidad ubicada en la posición central de la muestra, este grupo de variables debería reducirse en un poco más del 80% para que esta empresa apareciera como eficiente.

Por otra parte, el análisis también permite observar que, cuando se considera la totalidad de las variables, desaparece el problema imposibilidad; en todos los casos se encuentra un límite para el cual un incremento porcentual en el grupo de insumos analizados implicaría ser identificado como una empresa ineficiente. A su vez es posible observar que este efecto, el de identificar unidades con problemas de imposibilidad, es

más evidente en el caso en que se utilizan las variables que tienen entrada directa al modelo.

#### VARIABLES ADMINISTRATIVAS - RESOLUCIÓN CRA 346 DE 2005: EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES

A continuación se desarrollará el análisis para las empresas que tienen entre 2.500 y 25.000 suscriptores, pertenecientes a la muestra de empresas definida por la Resolución CRA 346 de 2005. En este sentido, se realizarán las consideraciones planteadas antes, que incluyen la Identificación de Empresas Ineficientes, el análisis de los puntajes asignados, la definición de mejoras potenciales, la participación de los productos o insumos en la determinación de los puntajes de eficiencia y la identificación de las empresas que actúan como referencia.

En cuanto a la identificación de empresas ineficientes, se observa que en el 55,0% de los casos se identifican posibles mejoras en eficiencia, es decir, en 11 de las 20 empresas que conforman la muestra (ver Tabla 14). Lo anterior implica que, en lo que respecta a la calificación de empresas como eficientes, el modelo de las empresas pequeñas estaría siendo menos exigente que el definido para las empresas grandes, en el cual para el 66,67% de las empresas se identifican posibles mejoras de eficiencia.

**TABLA 14. PUNTAJE Y MEJORAS POTENCIALES -VARIABLES ADMINISTRATIVAS: 2.500-25.000 SUSCRIPTORES**

UNIT NAME	SCORE	MEJORAS POTENCIALES (%)							
		INV. CA	INV. SC. ACU	INV. SC. ALC	INV. SC. MICRO	INV. SC. EI Y 2	SC.IND YCOM	QYR. FACT	DENSIDAD
CONHYDRA-ANTIOQUIA	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CONHYDRA-MARINILLA	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMP-AGUADAS+ARMA	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-LA DORADA	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-NEIRA	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-SALAMINA	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-SUPIA	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-VITERBO	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LA CIMARRONA	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CONHYDRA-SONSON	98,80	1,22	-1,86	0,00	-5,96	-24,48	-66,10	-69,68	0,00
EMPOCALDAS-RIOSUCIO	95,08	5,17	-7,56	0,00	-4,32	-48,18	-48,53	-27,36	0,00

UNIT NAME	SCORE	MEJORAS POTENCIALES (%)							
		INV_CA	INV_SC. ACU	INV_SC. ALC	INV_SC. MICRO	INV_SC. EI Y 2	SC.IND YCOM	QYR_FACT	DENSIDAD
EMPOCALDAS-ANSERMA	90,66	10,30	-8,97	0,00	-10,60	-17,81	-57,34	-60,41	0,00
EMP-CHINCHIN+PALESTINA	86,30	15,87	-6,20	0,00	-16,02	0,00	-58,15	0,00	-13,39
CONHYDRA-CHIGORODO	86,06	16,19	0,00	-37,23	-4,52	-39,79	-54,11	-95,02	0,00
CONHYDRA-PUERTO BERRIO	78,21	27,86	0,00	-45,66	-11,45	0,00	-50,00	0,00	-34,67
ING.TOTAL-ANDES	69,51	43,86	0,00	-15,12	-15,96	-42,83	-45,55	-7,34	0,00
ING.TOTAL-BOLIVAR	65,29	53,17	0,00	-22,53	-14,11	-23,60	-31,49	-1,40	0,00
EMPOOBANDO	64,59	54,81	-4,00	0,00	0,00	0,00	-44,60	-43,05	-22,60
O DE SERVICIOS-SANTA BARBARA	63,28	58,03	0,00	-39,77	-24,93	-34,89	-5,22	-29,72	0,00
O DE SERVICIOS-FREDONIA	49,51	101,99	-0,94	0,00	-12,26	-13,26	0,00	-21,12	-5,52
Promedio	77,03	35,32	-2,68	-14,57	-10,92	-22,26	-41,92	-32,28	-6,93

\*Este promedio se refiere a las seis unidades que resultan ineficientes.

Fuente: Estudios de Costos Aplicación Resolución 287 de 2004.

Por otra parte, cuando se observan las estadísticas descriptivas se encuentra que el puntaje promedio de la totalidad de la muestra es de 87,36%, mientras que cuando se eliminan las empresas eficientes éste se reduce a 77,03%. Al analizar la totalidad de la muestra, no presentan diferencias significativas con los valores observados para las empresas con más de 25.000 suscriptores, cuyos promedios es de 90,91%. Sin embargo, es posible anotar que dentro del grupo de empresas no son calificadas como eficientes el grupo de empresas grandes presenta un puntaje promedio de 66,7%, cerca de 10 puntos porcentuales por debajo del observado para las empresas pequeñas.

En lo que se refiere a las mejoras potenciales para este grupo de empresas, fue posible identificar que, en promedio, variables como el inverso de los costos administrativos deben ser incrementadas en un 35,32% para que las empresas identificadas como ineficientes pudieran obtener el máximo puntaje de eficiencia (ver Tabla 14). Cuando se analizan los cambios que deben ser aplicados a las variables sin transformación, se observa que, para este grupo de empresas, el promedio los costos administrativos debe ser reducido en un 26,10%, mientras que variables como los suscriptores de acueducto y alcantarillado corresponden al 2,76 y al 17,06%, respectivamente (ver Tabla

15). Es necesario recordar que estos análisis son realizados de manera independiente, es decir que el incremento de eficiencia se obtiene mediante la variación de una sola variable manteniendo las demás constantes.

En relación con los valores obtenidos para las empresas grandes, llama la atención que para las variables que tienen entrada inversa al modelo se requieren, con excepción del número de suscriptores de acueducto, incrementos significativamente mayores para que una empresa cambie su condición de ineficiente a eficiente. Al contrario, en el caso de las variables de entrada directa, las reducciones que se deben experimentar para cambiar la calificación de eficiencia son bastante menores a las establecidas para las empresas grandes. Llama particularmente la atención el caso de la densidad: mientras que para las empresas grandes, las empresas ineficientes requerían de una reducción de 63,59% para ser calificadas como eficientes, en el caso de las empresas pequeñas esta reducción debe ser mucho menos drástica; en promedio sería necesaria una reducción del 6,93% para obtener el máximo puntaje de eficiencia. Lo anterior permite suponer que para el grupo de empresas pequeñas la variable densidad cobra una mayor relevancia; se puede cambiar el resultado del análisis con variaciones de una menor proporción.

Lo anterior es ratificado cuando se tienen en cuenta las contribuciones que tienen las diferentes variables a la construcción del puntaje de eficiencia (ver Tabla 16). En el caso de los prestadores entre 2.500 y 25.000, la densidad aparece como la tercera variable en importancia en relación con su contribución

para la determinación del puntaje de eficiencia, con un aporte promedio del 18,65%, superada tan solo por las variables asociadas a los suscriptores de acueducto y alcantarillado, que tienen contribuciones promedio del 23,7% y 35,05%, respectivamente.

**TABLA 15. MEJORAS POTENCIALES EN LAS VARIABLES ADMINISTRATIVAS SIN TRANSFORMACIÓN**

VARIABLE SIN TRANSFORMACIÓN	MEJORA POTENCIAL	% MEJORAS EN UNIDADES INEFICIENTES
CA	-26,10%	100%
Sc.Acu	2,76%	55%
Sc.Alc	17,06%	45%
Sc.Micro	12,26%	91%
Sc.El y E2	28,63%	73%
Sc.IndyCom	-41,92%	91%
QyR_Fact	-32,28%	82%
Densidad	-6,93%	36%

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 16. CONTRIBUCIONES DEL INPUT - VARIABLES ADMINISTRATIVAS**

UNIT NAME	SCORE	INV. SC. ACU	INV. SC. ALC	INV. SC. MICRO	INV. SC. EI Y 2	SC.INDY COM	FACT QYR	DENSIDAD
CONHYDRA-CHIGORODO	86,06	64	0	0	0	0	0	36
CONHYDRA-ANTIOQUIA	100	4	0	0	0	0	0	96
CONHYDRA-SONSON	98,8	0	82	0	0	0	0	18
CONHYDRA-MARINILLA	100	0	78	0	0	0	0	22
CONHYDRA-PUERTO BERRIO	78,21	55	0	0	44	0	1	0
EMP-AGUADAS+ARMA	100	61	0	0	39	0	0	0
EMPOCALDAS-ANSERMA	90,66	0	92	0	0	0	0	8
EMPOCALDAS-LA DORADA	100	0	52	0	37	0	11	0
EMPOCALDAS-NEIRA	100	0	0	0	6	0	0	94
EMPOCALDAS-RIOSUCIO	95,08	0	92	0	0	0	0	8
EMPOCALDAS-SALAMINA	100	0	0	0	18	0	3	79
EMPOCALDAS-SUPIA	100	0	0	90	10	0	0	0
EMPOCALDAS-VITERBO	100	0	0	0	17	0	83	0
EMPOOBANDO	64,59	0	64	24	12	0	0	0
LA CIMARRONA	100	0	98	0	0	0	0	2
ING.TOTAL-ANDES	69,51	97	0	0	0	0	0	3
ING.TOTAL-BOLIVAR	65,29	98	0	0	0	0	0	2
O DE SERVICIOS-SANTA BARBARA	63,28	95	0	0	0	0	0	5
O DE SERVICIOS-FREDONIA	49,51	0	57	0	0	43	0	0
EMP-CHINCHIN+PALESTINA	86,3	0	86	0	13	0	1	0
Promedio		23,7	35,05	5,7	9,8	2,15	4,95	18,65

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Así mismo, se puede notar que variables como las asociadas al número de suscriptores con micromedición y el número de suscriptores de estratos 1 y 2 pierden relevancia, mientras que variables como número suscriptores industriales y comerciales y número de de quejas y reclamos a favor del usuario, que son introducidas al modelo de manera directa, continúan siendo las de menor relevancia. Este comportamiento también es evidenciado cuando se analizan la frecuencia con la cual las variables contribuyen a la formación del puntaje de eficiencia (ver Tabla 17)

En consecuencia, se debe plantear un ejercicio que permita justificar las diferencias en las implicaciones que tienen estas variables para los dos modelos. Una primera aproximación implicaría establecer las relaciones entre las variables, así como sus estadísticas descriptivas. En este sentido, vale la pena mencionar, por ejemplo, que el coeficiente de correlación entre la variable asociada a los costos administrativos y la densidad es 0,59, en el caso de las empresas grandes, y tan sólo 0,03 para las empresas que tienen entre 2.500 y 25.000 suscriptores. De esta forma, es posible pensar que, si

bien la densidad cobra una mayor participación en los resultados del modelo, esta intervención no refleja necesariamente la tendencia esperada en la relación costos-densidad, en el sentido que empresas con altos niveles de densidad tienen un impacto negativo en los costos.

Por otra parte, cuando se observan las estadísticas descriptivas para la variable densidad, se observa que la dispersión es mucho mayor en el caso de las empresas con menos de 25.000 suscriptores; la desviación estándar incluso supera el valor promedio en un 40% (ver Tabla 18). De igual manera, es posible señalar que, a pesar de que existe una unidad cuya densidad se encuentra varias veces por encima del promedio, esta obtiene la máxima calificación de eficiencia, lo que indicaría que, para esta empresa en particular, contar con un elevado nivel de densidad no estaría implicando efectos sobre su desempeño en eficiencia.

Estas consideraciones serán complementadas con mayor profundidad cuando se planteen escenarios adicionales con un menor número de variables y se realicen los análisis en los cuales se eliminan algunas de las DMU's.

**TABLA 17. RANKING DE INPUTS DE ACUERDO CON SUS CONTRIBUCIONES A LA DEFINICIÓN DE EFICIENCIA MUESTRA 346 - EMPRESAS DE 2.500 A 25.000 SUSCRIPTORES. VARIABLES ADMINISTRATIVAS**

INPUT	FRECUENCIA DE CONTRIBUCIÓN (%)	FRECUENCIA DE CONTRIBUCIÓN MÁS IMPORTANTE (%)
INV_Sc.ACUC	35,0%	30,0%
INV_Sc.ALC	45,0%	45,0%
INV_Sc.MICRO	10,0%	5,0%
INV_Sc.EI Y 2	45,0%	0,0%
Sc.INDyCOM	5,0%	0,0%
QyR_Fact	25,0%	5,0%
Densidad	60,0%	15,0%

**TABLA 18. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS PARA LA VARIABLE DENSIDAD - VARIABLES ADMINISTRATIVAS**

DESCRIPCIÓN	EMP. >25.000	EMP. 2.500-25.000
Promedio	143,36	242,21
Desviación	47,21	340,05
Relación SD/Promedio	0,33	1,40
Mínimo	82,80	67,49
Máximo	257,80	1640,61

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

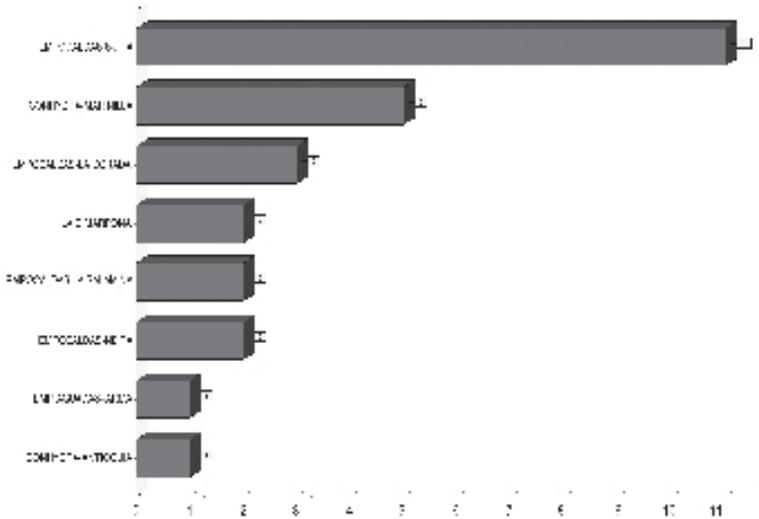
En cuanto a la frecuencia con la cual una empresa forma parte de la frontera eficiente, se destaca la presencia de EMPOCALDAS-SUPIA, que aparece en 11 ocasiones, es decir que siempre que se identifica una empresa ineficiente esta empresa es usada como referencia, seguida por CONHYDRAMARINILLA, que es utilizada como referencia en cinco oportunidades (ver Gráfica 2).

Por otra parte, cuando se calcula el índice de sensibilidad para las empresas que tienen entre 2.500 y 25.000 suscriptores, considerando el efecto que tienen las variables de manera independiente, se observa que en promedio para que una empresa sea calificada como eficiente debe reducir el insumo asociado a suscriptores de acueducto (es decir el inverso del número de suscriptores multiplicado por un millón) multiplicándolo por un factor igual a 0,73 (ver Tabla 19). Cuando se observan los demás insumos se encuentra que en la mayoría de las variables, se deberían aplicar en promedio reducciones similares si se pretende obtener el máximo nivel de eficiencia, destacándose como excepciones las variables suscriptores industriales y comerciales y quejas y reclamos por facturación definidas a favor del usuario; para estas variables se debe-

rían presentar en promedio reducciones cercanas al 80%, para que se incrementara hasta el 100% el puntaje de eficiencia (ver Tabla 19).

Sin embargo, cuando se analizan las medianas nuevamente se evidencia que existe una diferencia clara entre las variables de entrada directa al modelo, la cual implica que su efecto en la construcción del puntaje de eficiencia es significativamente menor, y sólo mediante cambios que implicarían la reducción de estas variables a niveles que en la práctica resultan irrealizables podría obtenerse un incremento apreciable en el puntaje de eficiencia (ver Tabla 19). Esta misma tendencia, un impacto mayor en el puntaje de eficiencia de los puntajes de eficiencia para aquellas variables que tienen un efecto proporcional en los costos, se evidencia cuando se consideran las variables agrupadas (ver Tabla 20); la diferencia en las medianas en este caso es superior a 30 puntos porcentuales y, como en el caso de las empresas grandes, las variables de entrada directa presentan mayores inconvenientes por imposibilidad. Lo anterior, teniendo en cuenta que la adición de estas variables implica una flexibilización del modelo que permite la obtención de mayores puntajes de eficiencia para la totalidad de la muestra.

**GRÁFICO 2. FRECUENCIAS DE REFERENCIA:  
ADMINISTRATIVAS - MUESTRA 346**



**TABLA 19. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRITORES ANÁLISIS POR VARIABLE.**

DMU'S	INV. SC. ACU	INV. SC. ALC	INV. SC. MICR	INV. SC. EYI2	SC. INDY COM	QYR. FACT	DENSIDAD
CONHYDRA-CHIGORODO	0,83	0,53	0,79	0,45	0,32	0,03	0,64
CONHYDRA-ANTIOQUIA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	1,16
CONHYDRA-SONSON	0,96	0,99	0,92	0,73	0,33	0,29	0,93
CONHYDRA-MARINILLA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
CONHYDRA-PUERTO BERRIO	0,75	0,41	0,64	0,68	0,09	0,04	0,20
EMP-AGUADAS+ARMA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	1,12	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOCALDAS-ANSERMA	0,82	0,90	0,80	0,57	0,25	0,25	0,59
EMPOCALDAS-LA DORADA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	1,66	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOCALDAS-NEIRA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOCALDAS-RIOSUCIO	0,88	0,95	0,91	0,45	0,42	0,60	0,81
EMPOCALDAS-SALAMINA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOCALDAS-SUPIA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOCALDAS-VITERBO	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOOBANDO	0,58	0,60	0,56	0,50	0,04	0,01	0,09
LA CIMARRONA	Infeasible	1,05	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	2,55
ING. TOTAL-ANDES	0,69	0,57	0,58	0,30	0,24	0,34	0,21
ING. TOTAL-BOLIVAR	0,65	0,49	0,56	0,41	0,32	0,42	0,32
O DE SERVICIOS-SANTA BARBARA	0,61	0,36	0,46	0,27	0,32	0,17	0,11
O DE SERVICIOS-FREDONIA	0,48	0,48	0,42	0,35	0,37	0,28	0,28
EMP-CHINCHIN+PALESTINA	0,79	0,85	0,68	0,66	0,06	0,03	0,19
Promedio	0,73	0,68	0,66	0,63	0,25	0,23	0,62
Medianas	0,75	0,59	0,64	0,50	0,32	0,25	0,32

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 20. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES**  
**ANÁLISIS POR VARIABLE AGRUPADAS**

DMU'S	INPUTS_TOTAL	INPUTS_INV.	INPUTS_DIR.
CONHYDRA-CHIGORODO	0,86	0,83	0,64
CONHYDRA-ANTIOQUIA	1,12	1,45	1,16
CONHYDRA-SONSON	0,99	0,99	0,93
CONHYDRA-MARINILLA	1,31	1,32	Infeasible
CONHYDRA-PUERTO BERRIO	0,78	0,78	0,20
EMP-AGUADAS+ARMA	1,11	1,11	Infeasible
EMPOCALDAS-ANSERMA	0,91	0,90	0,59
EMPOCALDAS-LA DORADA	1,12	1,12	Infeasible
EMPOCALDAS-NEIRA	1,36	Infeasible	1,36
EMPOCALDAS-RIOSUCIO	0,95	0,95	0,81
EMPOCALDAS-SALAMINA	1,22	1,58	1,45
EMPOCALDAS-SUPIA	1,18	1,20	Infeasible
EMPOCALDAS-VITERBO	1,05	1,19	1,11
EMPOOBANDO	0,65	0,65	0,09
LA CIMARRONA	1,04	1,05	2,55
ING.TOTAL-ANDES	0,70	0,69	0,34
ING.TOTAL-BOLIVAR	0,65	0,65	0,42
O DE SERVICIOS-SANTA BARBARA	0,63	0,61	0,32
O DE SERVICIOS-FREDONIA	0,50	0,48	0,37
EMP-CHINCHIN+PALESTINA	0,86	0,86	0,19
Promedio	0,95	0,97	0,78
Medianas	0,97	0,95	0,61

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

#### 6.1.2 COMPARACIÓN DEL MODELO DEA FRENTE A SFA

Como se planteó en la metodología descrita en la Sección 4, el uso de modelos alternativos permite validar la consistencia de los resultados obtenidos usando el modelo DEA; es decir, si éstos, los resultados, no corresponden a un artificio que depende de la metodología aplicada y por el contrario éstos pueden ser obtenidos a través de diferentes aproximaciones que pueden ser verificada con la realidad observada para el sector.

Específicamente, se utilizó como criterio de evaluación el coeficiente de correlación de Spearman, el cual compara los rankings obtenidos mediante las diferentes aproximaciones.

Sin embargo, cuando se utiliza el número de variables definido por la Resolución CRA 346 de 2005 y la metodología de fronteras estocásticas para las empresas con más de 25.000 suscriptores, el modelo no converge. En consecuencia, no se puede realizar los análisis de consistencia propuestos para este grupo de empresas.

Por otra parte, cuando se consideran las empresas medianas, el modelo SFA si converge, lo que permite obtener los resultados presentados en la Tabla 21. En esta tabla también se presentan los resultados del modelo DEA para este grupo de empresas.

Cuando se analizan las diferencias, se observa que los máximos corresponden a O DE SERVICIOS-FREDONIA, que aparece en la última posición en modelo DEA, mientras que en SFA está ubicada en la octava posición, y EMPOCALDAS-LA DORADA, que tiene el 100 % de eficiencia para el modelo DEA y se ubica en la posición número 18 del ranking de acuerdo con los resultados

obtenido por SFA. Así mismo, es posible señalar que el promedio del valor absoluto de la diferencia en las posiciones es de 4,3.

La comparación de estos resultados utilizando el coeficiente de correlación de Spearman, permite establecer un índice igual a 0,4436, que implica que la hipótesis de que los resultados obtenidos con las dos aproximaciones son iguales, y en consecuencia que los modelos son consistentes, puede ser aceptada tan sólo con un nivel de significancia del 10% ( $p_{\text{Value}}=0,0501$ ). En conclusión, si bien existen indicios sobre la afinidad de los resultados obtenidos, los modelos no son plenamente consistentes.

**TABLA 21. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS SFA Y DEA**

UNIT NAME	SFA	DEA	DIFERENCIA
CONHYDRA-ANTIOQUIA	7	9	2
CONHYDRA-CHIGORODO	3	14	11
CONHYDRA-MARINILLA	10	1	-9
CONHYDRA-PUERTO BERRIO	17	15	-2
CONHYDRA-SONSON	9	10	1
EMP-AGUADAS - ARMA	6	4	-2
EMP-CHINCHIN - PALESTINA	19	13	-6
EMPOCALDAS-ANSERMA	13	12	-1
EMPOCALDAS-LA DORADA	18	3	-15
EMPOCALDAS-NEIRA	4	7	3
EMPOCALDAS-RIOSUCIO	11	11	0
EMPOCALDAS-SALAMINA	5	5	0
EMPOCALDAS-SUPIA	1	2	1
EMPOCALDAS-VITERBO	2	6	4
EMPOOBANDO	20	18	-2
ING.TOTAL-ANDES	16	16	0
ING.TOTAL-BOLIVAR	15	17	2
LA CIMARRONA	14	8	-6
O DE SERVICIOS-FREDONIA	8	20	12
O DE SERVICIOS-SANTA BARBARA	12	19	7

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

La comparación de los resultados obtenidos utilizando las dos metodologías, será utilizada nuevamente en la siguiente sección, específicamente para establecer la consistencia de los resultados, observada en modelos que cuenten con un menor número de variables.

### 6.1.3 VARIACIONES AL MODELO DEA ACTUAL

#### 6.1.3.1 Efecto del Número de unidades

##### VARIABLES ADMINISTRATIVAS - EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES QUE CUENTAN CON PUNTAJE DEA

Como se explicó antes, la relación entre el número de variables y el número de observaciones determina la capacidad del modelo para identificar unidades ineficientes. En esta sección se presentan los cambios en los resultados del modelo, derivados del incremento en el número de observaciones. Las DMU's utilizadas corresponden a las empresas prestadoras, que a la fecha, cuentan con puntaje de eficiencia, de acuerdo con el registro de solicitudes presentadas a la Comisión en los términos del Parágrafo Primero, Artículo Tercero, de la Resolución CRA 346 de 2005. Esta muestra ampliada fue construida conservando los criterios de homogenización contenidos en las Resoluciones CRA 287 de 2004 y 346 de 2005.

El análisis se desarrollará en los mismos términos descritos antes: i) Identificación de Empresas Ineficientes, ii) Puntajes asignados, iii) Definición de mejoras potenciales, iv) Participación de los productos o insumos en la determinación de los puntajes de eficiencia, v) Empresas que actúan como referencia. Los resultados para ambos escenarios se presentan en la Tabla 22.

#### OBSERVACIONES:

La introducción de un mayor número de unidades, manteniendo los mismos supuestos de la metodología definida en las Resoluciones CRA 287 de 2004 y 346 de 2005, incluyendo los criterios de homogenización permite evidenciar

los siguientes cambios en los resultados promedios obtenidos para cada una de las muestras:

- La identificación de empresas ineficientes se incrementó en alrededor de 10 puntos porcentuales; en la muestra ampliada se encuentran ineficiencias en 12 de las 16 empresas analizadas.
- En cuando a los puntajes asignados, el valor promedio se redujo en un poco más de 5 puntos porcentuales.
- Es necesario reiterar que las mejoras potenciales se refieren al porcentaje que debe cambiar una variable para que la empresa sea calificada como eficiente. En este sentido, los resultados deben ser tomados con precaución: un valor demasiado elevado para una mejora potencial, puede implicar variaciones que son alcanzables por parte de los productores. Es decir, los resultados deben ser analizados teniendo en cuenta, además de las mejoras potenciales, los resultados obtenidos en los que respecta a la participación de insumos y productos.
- Dentro de la distribución de mejoras potenciales, se observa un incremento importante en las reducciones asociadas a los costos administrativos: mientras que para la muestra de la Res. CRA 346 de 2005 se identifica una reducción promedio en el CA de 18,14%, en el caso de la muestra ampliada esta reducción es del 29,67%.
- En lo que respecta a las mejoras potenciales, no se observan cambios significativos en las demás variables, con excepción de las variables asociadas al número de suscriptores pertenecientes a los estratos 1 y 2 (INV\_Sc.El Y 2) y al número de quejas y reclamos (QyR\_Fact):
  - ▶ En el caso de la Res. CRA 346 de 2005, solamente se identificó un caso a través del cual una empresa ineficiente pudiera mejorar su condición mediante

el incremento de número de suscriptores de estratos 1 y 2. Al contrario, cuando se amplía el número de empresas analizadas, se encuentra que cuatro de las 12 empresas ineficientes, se encuentran en esta situación.

- ▮ En cuanto a las quejas y reclamos, las reducciones que deben experimentar las empresas para ser catalogadas como eficientes se reducen en casi 25 puntos porcentuales. Como se mencionó antes se debe tener en cuenta que la participación de esta variable en la determinación del puntaje de eficiencia se incrementa, pasando de 3,25% a 4,63%. En consecuencia, la reducción observada en la determinación de la mejora potencial, puede explicarse si se tiene en cuenta que, al tener una mayor participación en la definición del PDEA, los cambios en esta variable generarán un mayor impacto, y es posible obtener mayores puntajes a través de cambios más pequeños.

- Cuando se analiza específicamente la participación de las variables en la determinación de los puntajes de eficiencia, se observa que los principales cambios corresponden a las variables relacionadas con el número de suscriptores de alcantarillado y el número de suscriptores con micromedición. En el primero de los casos la participación de la variable aumenta en cerca de 35 puntos porcentuales, al tiempo que en el segundo se reduce totalmente, es decir en alrededor de 30 puntos. El seguimiento de estas variables en las unidades independientes puede aportar indicios sobre los factores que determinan la solidez de las estimaciones realizadas.
- En este sentido, llama particularmente la atención la preponderancia que toma la variable INV\_Sc.ALC, que mientras que en modelo vigente apareció cuatro veces (33% de los Casos) como la variable de mayor importancia en la determinación del PDEA, para el modelo ampliado determinó en una mayor proporción el puntaje de 11 unidades (69%).

**TABLA 22. PARÁMETROS ANALIZADOS EN EL MODELO AMPLIADO EN EL NÚMERO DE UNIDADES**

PARÁMETRO	RESOLUCIÓN CRA 346	RESOLUCIÓN CRA 346 AMPLIADA	DIFERENCIA
<b>Identificación de Empresas Ineficientes</b>	66.67	75.00	8.33
<b>Puntajes asignados</b>			
Promedio	90.91	85.52	-5.39
Mínimo	67.38	54.82	-12.56
Desviación	11.90	14.41	2.50
<b>Mejoras Potenciales</b>			
INV_CA	18.14	29.67	11.54
INV_Sc.ACU	-3.88	-3.91	-0.03
INV_Sc.ALC	-3.75	-4.41	-0.66
INV_Sc.MICRO	-5.54	-5.06	0.47
INV_Sc.EI Y 2	-0.04	-27.17	-27.14
Sc.INDyCOM	-67.31	-68.32	-1.01
QyR_Fact	-65.09	-40.82	24.27
Densidad	-63.59	-74.41	-10.82

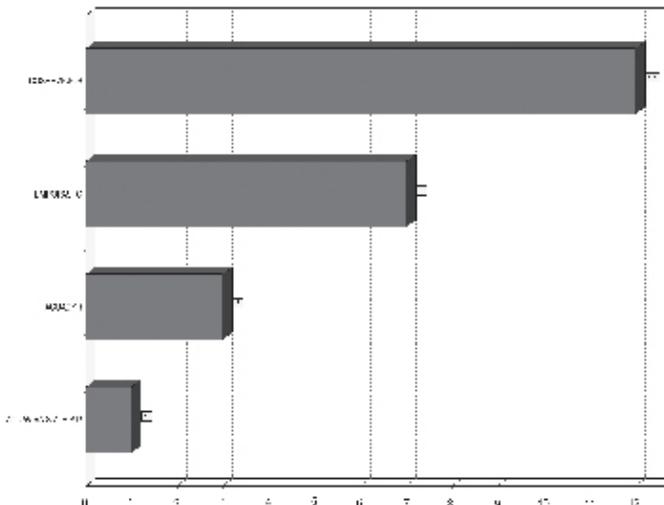
PARÁMETRO	RESOLUCIÓN CRA 346	RESOLUCIÓN CRA 346 AMPLIADA	DIFERENCIA
<b>Participación Insumos y Productos</b>			
INV_Sc.ACU	14.26	7.25	-7.01
INV_Sc.ALC	29.58	63.13	33.55
INV_Sc.MICRO	18.85	2.50	-16.35
INV_Sc.EI Y 2	32.38	21.13	-11.25
Sc.INDyCOM	1.69	0.31	-1.38
QyR_Fact	3.25	4.63	1.38
Densidad	0.00	1.13	1.13
<b>Frecuencia de Contribución Más importante</b>			
INV_Sc.ACU	8.33	6.25	-2.08
INV_Sc.ALC	33.33	68.75	35.42
INV_Sc.MICRO	25.00	0.00	-25.00
INV_Sc.EI Y 2	33.33	25.00	-8.33
Sc.INDyCOM	0.00	0.00	0.00
QyR_Fact	0.00	0.00	0.00
Densidad	0.00	0.00	0.00

*l Promedio de mejoras identificadas, con relación a las variables transformadas de acuerdo con los requerimientos del modelo, para las empresas ineficientes únicamente.*

*Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.*

En lo que respecta a la participación de las empresas como pares de comparación se observa lo siguiente:

**GRÁFICO 3. FRECUENCIAS DE REFERENCIA:  
ADMINISTRATIVAS - MUESTRA AMPLIADA**



*Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.*

La gráfica anterior permite observar que dos de las empresas adicionadas a la muestra de comparación son determinantes en la definición de los puntajes de eficiencia: COSERVICIOS, que en 12 de los 15 casos posibles aparece como par, y EMPOPASTO, que actúa como par en 7 oportunidades.

Estos resultados generan inquietud sobre el efecto que causa la exclusión de una Unidad específica dentro de la muestra ampliada. En este sentido, se realizó un ejercicio en el cual, a partir de las 16 empresas que conforman la muestra ampliada, se excluye una empresa diferente en cada iteración, de forma que se cuenta con 16 muestras de 15 empresas cada una. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 23. En la segunda columna se presenta el puntaje promedio determinado para

cada una de las 16 iteraciones realizadas, identificando para cada caso la empresa excluida. Cuando se analizan las estadísticas descriptivas de estos resultados, las cuales se presentan en la parte inferior de la tabla, se observa que los resultados son bastante homogéneos y la desviación estándar del puntaje promedio es de 1,48 puntos porcentuales, lo que representa una variación inferior al 2% en comparación con el promedio (ver Tabla 23).

Sin embargo, es posible señalar que el máximo puntaje promedio se obtiene cuando se excluye la empresa COSERVICIOS, 90,45% de eficiencia, lo cual implica que en efecto esta empresa está jalonando hacia la baja los resultados; el resultado se encuentra más de dos desviaciones por encima del promedio.

**TABLA 23. RESULTADOS 16 ITERACIONES - EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES - VARIABLES ADMINISTRATIVAS**

EMPRESA EXCLUIDA	PROMEDIO	STD DESV	MIN
CENTROAGUAS	86,46	14,40	54,82
ACUAVIVA S.A. E.S.P.	84,65	14,41	54,82
AA POPAYAN	85,36	14,89	54,82
ACUACAR	87,57	12,27	60,38
AGUAS DE MANIZALES	84,73	14,54	54,82
EAA BOGOTA	85,41	14,90	54,82
A Y A DE PEREIRA	86,17	14,67	54,82
ACUAGYR	86,46	13,48	54,82
EMCALI	86,03	14,76	54,82
EMCARTAGO	85,17	14,84	54,82
SERA QA	87,20	13,20	54,82
EPM	86,00	14,78	54,82
VIRTUAL BMANGA	85,18	14,84	54,82
EMPOPASTO	84,61	14,36	54,82
COSERVICIOS	90,45	12,51	60,12
ACUAVALLE	84,88	14,67	54,82
Promedio	86,02	14,22	55,50
Desv. Estándar	1,48	0,86	1,86
% Desv. Estándar/Promedio	1,7%	6,1%	3,3%
Mínimo	84,61	12,27	54,82
Máximo	90,45	14,90	60,38

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Cuando se analizan los resultados por empresa se observa lo siguiente:

Cuatro empresas, ACUAVIVA S.A. E.S.P., ACUAGYR, EMPOPASTO y COSERVICIOS, obtienen el máximo puntaje independientemente del grupo de comparación. Por otra

parte las principales desviaciones se observan en las empresas CENTROAGUAS, SERA QA y AA POPAYAN. Uno de los indicadores que vale la pena resaltar es que el promedio de la desviación estándar de las empresas es inferior a 2 puntos porcentuales.

**TABLA 24. RESULTADOS POR EMPRESA - 16 ITERACIONES EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES - VARIABLES ADMINISTRATIVAS**

EMPRESA	PUNT. PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	INTERVALO
CENTROAGUAS	73,11	5,99	71,57	94,76	23,19
SERA QA	62,02	4,74	60,38	77,85	17,47
AA POPAYAN	88,81	3,10	88,01	100,00	11,99
EMCARTAGO	91,59	2,35	90,87	100,00	9,13
A Y A DE PEREIRA	76,32	1,98	75,80	83,49	7,69
EPM	78,85	1,93	78,35	85,83	7,48
EAA BOGOTA	87,77	1,92	87,27	94,70	7,43
VIRTUAL BMANGA	91,05	1,38	90,67	96,04	5,37
ACUACAR	55,17	1,37	54,82	60,12	5,30
EMCALI	78,32	1,35	77,95	83,20	5,24
ACUAVALLE	95,57	1,22	95,26	100,00	4,74
AGUAS DE MANIZALES	97,74	0,79	97,44	100,00	2,56
ACUAVIVA S.A. E.S.P.	100,00	0,00	100,00	100,00	0,00
ACUAGYR	100,00	0,00	100,00	100,00	0,00
EMPOPASTO	100,00	0,00	100,00	100,00	0,00
COSERVICIOS	100,00	0,00	100,00	100,00	0,00

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Por otra parte, es posible comparar los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la Resolución 346 de 2005 y a partir de la muestra ampliada, utilizando los criterios de sensibilidad definidos en la metodología descrita en la sección 4.

#### COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN

Estos coeficientes comparan ranking de posiciones obtenido para diferentes tratamientos. Específicamente, el coeficiente de Spearman ( $\rho$ ) permite establecer la correlación entre los ranking establecidos para cada una de las muestras.

Dado que las muestras deben contar con el mismo número de observaciones, para tener 16 unidades en la muestra de la Resolución CRA 346 de 2005, las empresas adicionales se

incluyen adoptando el valor de  $P_{DEA}$  obtenido usando como muestra de comparación las doce empresas definidas por la citada resolución

El valor determinado para  $\rho$  (0,9088), permite establecer que existe dependencia entre los ranking, es decir que la inclusión de un mayor número de unidades no generó cambios significativos en la clasificación de las empresas; las empresas mantienen sus posiciones relativas y no se observan variaciones importantes en los rankings obtenidos para cada grupo de empresas.

#### CAMBIOS OBSERVADOS EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

En el mismo sentido de los resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Spearman, se observa que el mo-

delo es consistente, puesto que la inclusión de unidades adicionales no afecta la desviación estándar de los puntajes observados.

**VARIABLES ADMINISTRATIVAS - EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES**

Teniendo en cuenta la dispersión que se observa para este grupo de empresas (ver Anexo I), la evaluación del efecto que tiene el número de unidades se concentrará en la estimación de los cambios generados por la eliminación de una unidad de la muestra, aplicando en este caso 20 iteraciones para cada una de las cuales se excluye una empresa diferente. Es decir que se evalúan 20 muestras, cada una de las cuales cuenta con 19 empresas.

Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 25 y permiten evidenciar que en ningún caso la exclusión de alguna de las unidades que forman parte de la muestra conduce a variaciones significativas en las estadísticas obtenidas para los puntajes derivados de cada iteración: La desviación estándar de los promedios obtenidos para las diferentes iteraciones es 0,95 puntos porcentuales, es decir 1,1% del promedio de la muestra. El máximo promedio obtenido corresponde a la muestra en la cual se excluye la empresa EMPOCALDAS-SUPIA, el cual asciende a 89,52 y demuestra que esta es la empresa que determina en una mayor proporción los puntajes de las demás unidades de la muestra (ver Tabla 25).

**TABLA 25. RESULTADOS 20 ITERACIONES - EMPRESAS ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES - VARIABLES ADMINISTRATIVAS**

EMPRESA EXCLUIDA	PROMEDIO	STD DESV	MIN
CONHYDRA-CHIGORODO	87,43	16,77	49,51
CONHYDRA-ANTIOQUIA	86,70	16,49	49,51
CONHYDRA-SONSON	86,76	16,54	49,51
CONHYDRA-MARINILLA	86,98	16,17	49,51
CONHYDRA-PUERTO BERRIO	87,85	16,62	49,51
EMP-AGUADAS+ARMA	86,72	16,48	49,51
EMPOCALDAS-ANSERMA	87,19	16,75	49,51
EMPOCALDAS-LA DORADA	86,88	16,36	49,51
EMPOCALDAS-NEIRA	86,70	16,48	49,56
EMPOCALDAS-RIOSUCIO	86,96	16,67	49,51
EMPOCALDAS-SALAMINA	86,74	16,51	49,51
EMPOCALDAS-SUPIA	89,52	13,92	55,24
EMPOCALDAS-VITERBO	86,70	16,49	49,51
EMPOOBANDO	88,56	15,84	49,51
LA CIMARRONA	86,73	16,50	49,51
ING. TOTAL-ANDES	88,30	16,21	49,51
ING. TOTAL-BOLIVAR	88,53	15,90	49,51
O DE SERVICIOS-SANTA BARBARA	88,63	15,73	49,51
O DE SERVICIOS-FREDONIA	89,36	14,05	63,28
EMP-CHINCHIN+PALESTINA	87,42	16,77	49,51
Promedio	87,53	16,16	50,48
Desv. Estándar	0,95	0,80	3,27
% Desv. Estándar/Promedio	1,1%	5,0%	6,5%
Mínimo	86,70	13,92	49,51
Máximo	89,52	16,77	63,28

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Por otra parte, cuando se evalúan los resultados por empresa, es decir qué tanto varía el desempeño de cada empresa a lo largo de las diferentes iteraciones, se observa nuevamente que los resultados son bastante estables. En la mayoría de los casos (el 80% de

las empresas) la relación entre la desviación estándar y el promedio obtenidos para las diferentes iteraciones es inferior al 2%, mientras que en las empresas restantes este parámetro se ubica alrededor del 3% (ver Tabla 26).

**TABLA 26. RESULTADOS POR EMPRESA - 16 ITERACIONES EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES - VARIABLES ADMINISTRATIVAS**

EMPRESA	PUNT. PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	DESV./ ESTÁNDAR
CONHYDRA-CHIGORODO	86,29	0,90	0,01
CONHYDRA-ANTIOQUIA	100,00	0,00	0,00
CONHYDRA-SONSON	98,88	0,29	0,00
CONHYDRA-MARINILLA	100,00	0,00	0,00
CONHYDRA-PUERTO BERRIO	78,56	1,24	0,02
EMP-AGUADAS+ARMA	100,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-ANSERMA	90,77	0,36	0,00
EMPOCALDAS-LA DORADA	100,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-NEIRA	100,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-RIOSUCIO	95,35	1,13	0,01
EMPOCALDAS-SALAMINA	100,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-SUPIA	100,00	0,00	0,00
EMPOCALDAS-VITERBO	100,00	0,00	0,00
EMPOOBANDO	64,94	1,03	0,02
LA CIMARRONA	100,00	0,00	0,00
ING.TOTAL-ANDES	70,01	1,94	0,03
ING.TOTAL-BOLIVAR	65,76	1,99	0,03
O DE SERVICIOS-SANTA BARBARA	63,78	1,67	0,03
O DE SERVICIOS-FREDONIA	49,81	1,31	0,03
EMP-CHINCHIN+PALESTINA	86,54	0,63	0,01

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

### 6.1.3.2 Efecto del Número de Variables

Para evaluar el efecto del número de variables se tomaron como referencia los siguientes modelos:

**Modelo 1:** Costo administrativo y suscriptor acueducto (variable no controlable).

**Modelo 2:** Costo administrativo, suscriptores acueducto (variable no controlable) y suscriptores alcantarillado (variable no controlable).

**Modelo 3:** Costo administrativo, suscriptores acueducto (variable no controlable), suscriptores alcantarillado (variable no controlable) y suscriptores con micromedición (variable controlable).

**Modelo 4:** Costo administrativo, suscriptores acueducto (variable no controlable), suscriptores alcantarillado (variable no controlable), suscriptores con micromedición (variable controlable) y suscriptores estratos 1 y 2 (variable no controlable).

**Modelo 5:** Costo administrativo, suscriptores acueducto (variable no controlable), suscriptores alcantarillado (variable no controlable), suscriptores con micromedición (variable controlable), suscriptores estratos 1 y 2 (variable no controlable) y suscriptores industriales y comerciales (variable no controlable).

**Modelo 6:** Costo administrativo, suscriptores acueducto (variable no con-

trolable), suscriptores alcantarillado (variable no controlable), suscriptores con micromedición (variable controlable), suscriptores estratos 1 y 2 (variable no controlable), suscriptores industriales y comerciales (variable no controlable) y quejas y reclamos (variable controlable).

**Modelo 7:** Costo administrativo, suscriptores acueducto (variable no controlable), suscriptores alcantarillado (variable no controlable), suscriptores con micromedición (variable controlable), suscriptores estratos 1 y 2 (variable no controlable), suscriptores industriales y comerciales (variable no controlable), quejas y reclamos (variable controlable) y densidad (variable no controlable).

Como ha sido una constante a lo largo de este documento, estos modelos fueron aplicados de manera independiente para los dos Grupos de Empresas. El criterio gene-

ral utilizado para comparar la consistencia de los resultados, tanto aquello relacionado a la introducción o remoción de variables, como los posibles cambios observados en los resultados como consecuencia del uso de una metodología alternativa, como en el caso de SFA, será el coeficiente de correlación de Spearman aplicado a los rankings obtenidos.

#### VARIABLES ADMINISTRATIVAS - EMPRESAS CON MÁS DE 25.000

La Tabla 27 presenta los cambios en los resultados del modelo, derivados del incremento en el número de variables. Los resultados del análisis comprenden un análisis de identificación de empresas ineficientes, puntajes asignados, definición de mejoras potenciales y participación de los productos o insumos en la determinación de los puntajes de eficiencia para los modelos que se estiman a través de un análisis DEA.

**TABLA 27. PARÁMETROS ANALIZADOS A CONSECUENCIA DE CAMBIOS EN EL NÚMERO DE VARIABLES**

	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
Promedio	85.10	85.11	88.56	90.92	90.92	90.92
Mínimo	57.45	57.45	58.86	67.38	67.38	67.38
Desviación	14.08	14.09	13.65	11.88	11.88	11.88
Promedio Ineficientes	83.74	83.76	84.74	86.38	86.38	86.38
Mínimo Ineficientes	57.45	57.45	58.86	67.38	67.38	67.38
Desviación Ineficientes	13.93	13.94	13.81	12.30	12.30	12.30
<b>Mejoras Potenciales</b>						
INV_CA	23.05	23.04	21.32	18.10	18.10	18.10
INV_Sc.ACU	-1.04	-1.05	-1.68	-3.98	-3.98	-3.98
INV_Sc.ALC	-3.15	-3.15	-4.26	-3.71	-3.71	-3.71
INV_Sc.MICRO		-4.45	-2.36	-5.48	-5.48	-5.48
INV_Sc.ElyE2			0.00	-0.04	-0.04	-0.04
Sc.INDyCOM				-67.30	-67.30	-67.30
QyR_Fact					-65.09	-65.09
Densidad						-63.59
<b>Participación Insumos y Productos</b>						
INV_Sc.ACU	58.33	50.00	17.99	18.63	18.63	14.23
INV_Sc.ALC	41.67	41.67	20.52	29.77	29.57	29.57
INV_Sc.MICRO		8.33	32.07	12.13	20.46	20.46
INV_Sc.ElyE2			29.43	36.52	28.98	30.79
Sc.INDyCOM				2.96	2.16	1.69
QyR_Fact					0.20	3.26
Densidad						0.00

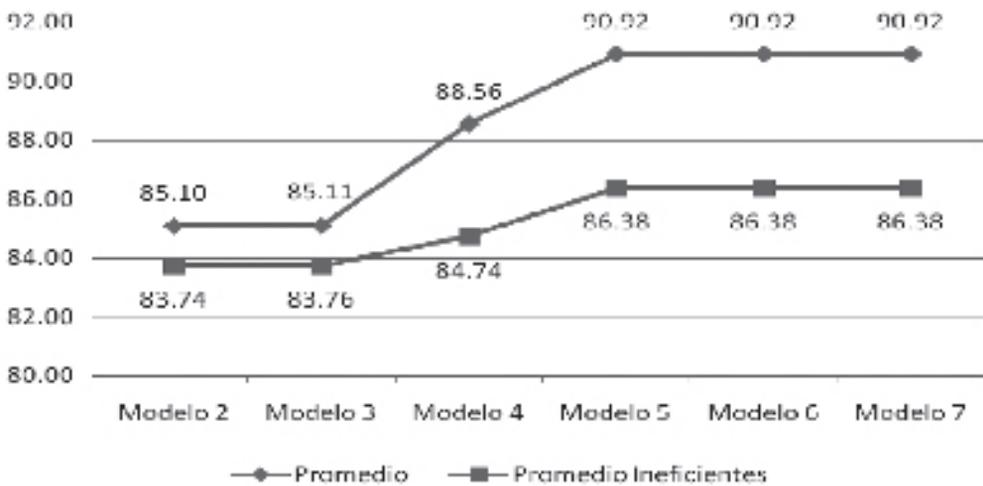
Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

La introducción de un mayor número de variables permite evidenciar los siguientes cambios en los resultados promedios obtenidos para cada uno de los modelos:

- A medida que se incrementa el número de variables en el modelo, el promedio de todas las empresas (tanto eficientes como ineficientes) va aumentando hasta llegar a un puntaje máximo (90,92) que se mantiene constante. Este máximo puntaje se presenta en el modelo cinco. Es decir, la introducción de las variables quejas y reclamos por facturación a favor del usuario y

densidad no varían los puntajes. Al mismo tiempo, se observa que los puntajes promedios de las empresas no eficientes, van en aumento como consecuencia de la introducción de variables. Dicho incremento llega a su punto máximo para el modelo cinco, en tal sentido, se puede llegar a la conclusión planteada en el párrafo anterior. Como se puede evidenciar, a medida que se introduce variables, la estimación de los puntajes es menos rigurosa y por tal motivo las empresas tanto eficientes como ineficientes obtienen mayores puntajes.

**GRÁFICO 4. INCREMENTO DE LOS PUNTAJES DE EFICIENCIA A CONSECUENCIA DE LA INTRODUCCIÓN DE VARIABLES - VARIABLES ADMINISTRATIVAS**



Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

- En el caso de las mejoras potenciales (refiere al porcentaje que debe cambiar una variable para que la empresa sea calificada como eficiente) se evidencia que a medida que se incrementan las variables, las empresas deben hacer menos esfuerzos para ser consideradas eficientes. Por ejemplo, pasar del modelo tres al cuarto y luego al quinto, las mejoras potenciales se van reduciendo. Estas mejoras potenciales van en aumento o disminución dependiendo de la variable hasta estabilizarse en el

modelo cinco. Por lo tanto, se demuestra que la introducción de las variables quejas y reclamos, y densidad no generan mejoras potenciales a la empresa promedio.

- Finalmente, cuando se analiza la participación de las variables en la determinación de los puntajes de eficiencia en los diferentes modelos, se evidencia que las variables suscriptores industriales y comerciales, quejas y reclamos por facturación a favor del usuario y densidad casi no aportan

para determinar el puntaje. Por lo general, el resto de variables son las que aportan en mayor medida y principalmente las variables suscriptores acueducto y alcantarillado (en mayor medida la primera).

La inclusión de variables suscriptores industriales y comerciales, quejas y reclamos, y densidad no modifican los puntajes de eficiencia de las empresas como se puede observar en la Tabla 28. En dicha Tabla, se presentan ocho modelos, los cuales son los seleccionados dentro de los 127 modelos posibles que se pueden construir, a través de una combinación de las siete variables que considera el análisis envolvente de datos (DEA). Dichos modelos son los escogidos debido a los resultados peculiares que presentan y de los intereses que persigue el trabajo, es decir, aumentar el nivel de exigencia de los modelos.

Los modelos que se especifica en la tabla son los siguientes:

**Modelo A:** Suscriptores industriales y comerciales, quejas y reclamos.

**Modelo B:** Suscriptores industriales y comerciales, densidad.

**Modelo C:** Quejas y reclamos, densidad.

**Modelo D:** Suscriptores industriales y comerciales, quejas y reclamos, y densidad.

**Modelo E:** Suscriptores acueducto, suscriptores alcantarillado, suscriptores con micromedición, suscriptores estratos 1 y 2, suscriptores industriales y comerciales.

**Modelo F:** Suscriptores acueducto, suscriptores alcantarillado, suscriptores con micromedición, suscriptores estratos 1 y 2, suscriptores industriales y comerciales, quejas y reclamos.

**Modelo G:** Suscriptores acueducto, suscriptores alcantarillado, suscriptores con micromedición, suscriptores estratos 1 y 2, suscriptores industriales y comerciales, densidad.

**Modelo H:** Suscriptores acueducto, suscriptores alcantarillado, suscriptores con micromedición, suscriptores estratos 1 y 2, suscriptores industriales y comerciales, quejas y reclamos, densidad.

**TABLA 28. PUNTAJES DE EFICIENCIA DE MODELOS ESCOGIDOS**

	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D	Modelo E	Modelo F	Modelo G	Modelo H
AA PEREIRA	6,01	12,67	12,67	12,67	86,18	86,18	86,18	86,18
AA POPAYAN	29,64	31,83	31,83	31,83	100,00	100,00	100,00	100,00
ACUACAR	3,86	10,27	10,27	10,27	68,30	68,30	68,30	68,30
ACUAGYR	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
ACUAVIVA S.A	26,63	30,92	30,92	30,92	100,00	100,00	100,00	100,00
A MANIZALES	15,64	30,64	30,64	30,64	100,00	100,00	100,00	100,00
EAA BOGOTA	0,05	1,01	1,01	1,01	98,63	98,63	98,63	98,63
EMCALI	0,33	2,64	2,64	2,64	88,65	88,65	88,65	88,65
EMCARTAGO	65,40	65,40	62,87	65,40	91,24	91,24	91,24	91,24
EPM	0,11	1,01	1,01	1,01	91,36	91,36	91,36	91,36
SERA QA	49,39	49,39	49,27	49,39	67,38	67,38	67,38	67,38
V. BMANGA	1,89	9,17	9,17	9,17	99,33	99,33	99,33	99,33
PROMEDIO	24,91	28,75	28,53	28,75	90,92	90,92	90,92	90,92
PROMEDIO INF.	18,09	22,27	22,03	22,27	86,38	86,38	86,38	86,38

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Lo importante es observar que los puntajes cuando se compara el modelo E (donde no se incluye quejas y reclamos, y densidad), F (donde no se incluye densidad) y el modelo G (donde no se incluye quejas y reclamos) frente al modelo H (donde se incluye todas las variables) son los mismos. En tal sentido, se confirma que la inclusión o no inclusión de las variables quejas y reclamos, y densidad generan los mismos puntajes.

Al mismo tiempo, la Tabla 28 indica que los modelos A, B, C y D, donde sólo se construye el modelo con las variables suscriptores industriales y comerciales, quejas y reclamos, y densidad genera los menores puntajes de eficiencia de los 127 modelos que se puede generar con las combinaciones de todas las variables.

En conclusión, la incorporación de las variables quejas y reclamos, y densidad en otros

modelos no genera cambios en los puntajes de eficiencia. Por otro lado, modelos desarrollados sólo con dichas variables genera puntajes demasiado bajos y nada coherentes.

El siguiente paso, es calcular los diferentes Coeficientes de Spearman para el grupo de empresas grandes para un análisis envolvente de datos (DEA). Dichos coeficientes son presentados en la Tabla 29. Las celdas sombreadas muestran los cambios generados por la exclusión o inclusión de una variable. En todos los casos, incluso en aquellos en los cuales existen diferencias de hasta cinco variables, como corresponde a la comparación entre los modelos dos y siete, se encuentra que existe dependencia entre los ranking establecidos por los diferentes modelos (los pvalores para las pruebas de hipótesis, los cuales aparecen entre paréntesis son menores que 0,05).

**TABLA 29. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS GRANDES - ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA)**

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
Modelo 1	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)
Modelo 2		1,0000 (0,0000)	1,0000 (0,0000)	0,8944 (0,0001)	0,8329 (0,0008)	0,8329 (0,0008)	0,8329 (0,0008)
Modelo 3			1,0000 (0,0000)	0,8944 (0,0001)	0,8329 (0,0008)	0,8329 (0,0008)	0,8329 (0,0008)
Modelo 4				1,0000 (0,0000)	0,9248 (0,0000)	0,9248 (0,0000)	0,9248 (0,0000)
Modelo 5					1,0000 (0,0000)	1,0000 (0,0000)	1,0000 (0,0000)
Modelo 6						1,0000 (0,0000)	1,0000 (0,0000)
Modelo 7							1,0000 (0,0000)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test Ho: Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

La siguiente Tabla presenta los diferentes coeficientes de Spearman para el Grupo de Empresas Grandes a través de un análisis

de fronteras estocásticas (SFA) para los diferentes modelos planteados.

**TABLA 30. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS GRANDES - FRONTERAS ESTOCÁSTICAS (FE)**

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
Modelo 1	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	<b>-0.6014</b> <b>(0.0386)</b>	<b>-0.4266</b> <b>(0.1667)</b>	<b>-0.4266</b> <b>(0.1667)</b>	<b>-0.3357</b> <b>(0.2861)</b>	NA (NA)
Modelo 2		1.0000 (0.0000)	<b>-0.6014</b> <b>(0.0386)</b>	<b>-0.4266</b> <b>(0.1667)</b>	<b>-0.4266</b> <b>(0.1667)</b>	<b>-0.3357</b> <b>(0.2861)</b>	NA (NA)
Modelo 3			1.0000 (0.0000)	0.9510 (0.0000)	0.9510 (0.0000)	0.9161 (0.0000)	NA (NA)
Modelo 4				1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	0.9860 (0.0000)	NA (NA)
Modelo 5					1.0000 (0.0000)	0.9860 (0.0000)	NA (NA)
Modelo 6						1.0000 0.0000	NA NA
Modelo 7							1.0000 (0.0000)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test Ho: Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

Los resultados que se presentan remarcados (negrilla) indican que la inclusión de una o varias variables modifican el ranking de eficiencia de las empresas de la muestra. Por ejemplo, se evidencia que el Coeficiente de Spearman de pasar del modelo 1 al modelo 3 es igual a -0.6014, en tal sentido, la inclusión de las variables suscriptores alcantarillado y suscriptores con micromedición modifica el ordenamiento de las empresas.

Lo interesante es observar si la inclusión de una nueva variable al modelo modifica las posiciones de las empresas, dichos resultados se remarcan con un color gris. Por ejemplo, se observa que pasar del modelo dos al modelo tres, adicionando la variable suscriptores con micromedición modifica el ranking. Por otro lado, se observa que la inclusión de las variables suscriptores estratos 1 y 2, y suscriptores industriales y comerciales casi no modifican las posiciones de eficiencia de las empresas.

Visto de otra forma, es posible anotar que los resultados obtenidos para los modelos que cuentan con más de tres insumos, son simultáneamente dependientes; es decir, que en todos estos casos los resultados son altamente consistentes.

Por otra parte, es posible evaluar la validez del modelo DEA, comparando los resultados obtenidos usando SFA. Lo interesante de esta estimación, es observar el Coeficiente de Correlación de Spearman entre el mismo modelo pero entre diferentes formas de estimarlo (diagonal principal de la Tabla 31). Es decir, comparar las posiciones que se encuentran para las empresas para el mismo modelo tanto por medio de una estimación de fronteras estocásticas como por medio de un análisis envolvente de datos. Los valores remarcados indican que solamente al comparar el modelo dos, donde se incluyen las variables suscriptores acueducto y alcantarillado, se presenta una modificación considerable en los ranking establecidos.

Por otro lado, se evidencia que para el resto de modelos, el Coeficiente de Correlación se encuentra alrededor del 70%, en tal sentido se podría indicar que no existe muchos cambios en las posiciones de eficiencia de los ranking.

**TABLA 31. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS GRANDES - DEA Y FE**

FRONTERA ESTOCÁSTICAS (FE)	Análisis Envoltante de Datos (DEA)					
		Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
	Modelo 2	-0.1608 (0.6175)	-0.1608 (0.6175)	-0.0350 (0.9141)	0.1818 (0.5717)	0.1818 (0.5717)
	Modelo 3		0.7902 (0.0022)	0.6434 (0.0240)	0.5315 (0.0754)	0.5315 (0.0754)
	Modelo 4			0.7832 (0.0026)	0.6993 (0.0114)	0.6993 (0.0114)
	Modelo 5				0.6993 (0.0114)	0.6993 (0.0114)
	Modelo 6					0.7273 (0.0074)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test Ho: Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

VARIABLES ADMINISTRATIVAS - EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES

La Tabla 32 presenta los diferentes Coeficientes de Correlación de Spearman que se obtienen a través de un análisis en-

volvente de datos (DEA). Por medio de este Coeficiente, se evidencia que las variables densidad ( $\rho=0.9552$ ) y la variable quejas y reclamos ( $\rho=0.9874$ ) no generan alteraciones en las posiciones de los ranking de eficiencia de las empresas (existe dependencia entre los ranking).

**TABLA 32. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS PEQUEÑAS - ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS**

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
Modelo 1	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)	NA (NA)
Modelo 2		1.0000 (0.0000)	0.9955 (0.0000)	0.9079 (0.0001)	<b>0.7682</b> <b>(0.0001)</b>	<b>0.7897</b> <b>(0.0000)</b>	<b>0.7646</b> <b>(0.0001)</b>
Modelo 3			1.0000 (0.0000)	0.9147 (0.0000)	<b>0.7759</b> <b>(0.0001)</b>	<b>0.7959</b> <b>(0.0000)</b>	<b>0.7646</b> <b>(0.0001)</b>
Modelo 4				1.0000 (0.0000)	0.8668 (0.0000)	0.8606 (0.0000)	0.8229 (0.0000)
Modelo 5					1.0000 (0.0000)	0.9874 (0.0000)	0.9520 (0.0000)
Modelo 6						1.0000 (0.0000)	0.9552 (0.0000)
Modelo 7							1.0000 (0.0000)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test Ho: Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

De la misma manera, se estimaron los Coeficientes para este grupo de empresas a través de un análisis de fronteras estocásticas (Tabla 33). Los valores en negrilla muestran aquellos modelos que son más sensibles por la inclusión de una o más variables, mientras que los valores en color gris son aquellos modelos que muestran que tan sensibles son los modelos por la inclusión de sólo una variable. En el caso de las empresas pequeñas, se evidencia que la

inclusión de las variables suscriptores con micromedición y suscriptores estrato 1 y 2 originan cambios en las posiciones de las empresas en el ranking. Por otro lado, las variables suscriptores industriales y comerciales, y densidad no generan grandes cambios en las posiciones (existe dependencia entre los ranking). De igual forma, se observa una mayor estabilidad en la metodología DEA frente la metodología SFA.

**TABLA 33. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS PEQUEÑAS - FRONTERAS ESTOCÁSTICAS (FE)**

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
Modelo 1	1.0000 (0.0000)	1.0000 (0.0000)	<b>-0.4451</b> (0.0492)	0.8617 (0.0000)	0.8752 (0.0000)	0.7970 (0.0000)	0.8180 (0.0000)
Modelo 2		1.0000 (0.0000)	<b>-0.4451</b> (0.0492)	0.8617 (0.0000)	0.8752 (0.0000)	0.7970 (0.0000)	0.8180 (0.0000)
Modelo 3			1.0000 (0.0000)	<b>-0.1684</b> (0.4778)	<b>-0.1895</b> (0.4237)	0.5293 (0.0164)	<b>-0.5308</b> (0.0160)
Modelo 4				1.0000 (0.0000)	0.9955 (0.0000)	0.7639 (0.0001)	0.7774 (0.0001)
Modelo 5					1.0000 (0.0000)	0.7774 (0.0001)	0.7910 (0.0000)
Modelo 6						1.0000 (0.0000)	0.9985 (0.0000)
Modelo 7							1.0000 (0.0000)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test  $H_0$ : Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

De la misma forma, se recurre al Coeficiente de Correlación de Spearman para verificar la sensibilidad o cambios en las posiciones de los rankings que se obtuvieron a través de los modelos estimados a través de DEA y FE. Al comparar ambos modelos, se evidencia que en todos los casos existen cambios en las posiciones de las empresas. Lo importante en este análisis, es observar los Coeficientes de Correlación de la diagonal principal, donde se compara las mismas

variables de un mismo modelo pero estimados a través de diferentes análisis (FE y DEA).

Se evidencia que los menores cambios en las posiciones se encuentran cuando se compara el modelo cuatro y el modelo cinco obtenido a través de los dos análisis (en el segundo se presenta menores cambios). En tal sentido, dichos modelos son aquellos que presenta mayor estabilidad entre ambos análisis.

**TABLA 34. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS PEQUEÑAS - DEA Y FE**

		Análisis Envolvente de Datos (DEA)					
		Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7
<b>FRONTERAS ESTOCÁSTICAS (FE)</b>	<b>Modelo 1</b>	0.2586 (0.2709)	0.2962 (0.2047)	0.3023 (0.1952)	0.4782 (0.0330)	0.5038 (0.0235)	0.5008 (0.0245)
	<b>Modelo 2</b>	0.2586 (0.2709)	0.2962 (0.2047)	0.3023 (0.1952)	0.4782 (0.0330)	0.5038 (0.0235)	0.5008 (0.0245)
	<b>Modelo 3</b>		0.5233 (0.0179)	0.5414 (0.0137)	0.3820 (0.0965)	0.3519 (0.1281)	0.3353 (0.1484)
	<b>Modelo 4</b>			0.6060 (0.0046)	0.6827 (0.0009)	0.7068 (0.0005)	0.7053 (0.0005)
	<b>Modelo 5</b>				0.6857 (0.0008)	0.7068 (0.0005)	0.7068 (0.0005)
	<b>Modelo 6</b>					0.4000 (0.0806)	0.4316 (0.0574)
	<b>Modelo 7</b>						0.4436 (0.0501)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test  $H_0$ : Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

Finalmente indica que el análisis de eficiencia de costos administrativos tanto a través de un análisis envolvente de datos como a través de fronteras estocásticas, muestran resultados similares y consistentes respecto a la posición de las empresas. En tal sentido, se puede indicar que los resultados obtenidos a través de la metodología DEA, pueden ser validados a través de FE.

## 6.2 VARIABLES OPERATIVAS

### 6.2.1 EVALUACIÓN MODELOS DEA - METODOLOGÍA

ACTUAL: ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS USANDO EL MODELO DEA.

El resumen de las estadísticas descriptivas de las variables operativas que fueron utilizadas dentro de los modelos definidos

por la Resolución CRA 346 de 2005, para los dos grupos de prestadores definidos por la Resolución CRA 287 de 2004, se presenta en el Anexo 2. De acuerdo con estos valores, se observa que el costo promedio para empresas grandes es igual a \$29 billones de pesos. La variable metros cúbicos vertidos es la que presenta mayor dispersión. Observando las diferentes correlaciones, la variable metros cúbicos producidos es la que presenta mayor relación con la variable costos operativos con un valor igual a 0,93, al otro extremo está la variable número efectivo de plantas con un valor igual 0,65.. En esta sección se analizan las estadísticas descriptivas de los parámetros establecidos mediante la aplicación de la metodología DEA, teniendo en cuenta los lineamientos contenidos en las citadas resoluciones.

*VARIABLES OPERATIVAS - RESOLUCIÓN CRA  
346 DE 2005: EMPRESAS CON MÁS DE 25.000  
SUSCRIPTORES*

En la Tabla 35 se observa los diferentes puntajes que obtienen las empresas con más de 25.000 suscriptores en el caso de las variables operativas. Se observa que el puntaje promedio, considerando todas las unidades de la muestra, es igual a 90,79%. Al momento de considerar solamente las unidades ineficientes (41,67% de la muestra), el valor promedio se reduce a 80,04%.

Al mismo tiempo, dicha Tabla permite identificar las mejoras potenciales correspondientes a cada variable. Dichas mejoras potenciales como ya se indicó, son expresadas como la reducción en un input o el incremento en un output que debe experimentar una unidad ineficiente para ser considerada eficiente. Por ejemplo, la variable costo operativo presenta en promedio una mejora potencial igual a 26,6%, en tal sentido, dicha variable debe ser reducida en un 21,01% (se debe hacer una transformación del resultado de la variable debido a que la variable entra en forma invertida al modelo, resultados se observan en la Tabla 36). Las demás variables muestran la misma tendencia, con excepción de la calidad promedio de agua cruda, que entra al modelo sin ninguna transformación. La variable número efectivo de plantas es la que debería aumentar en mayor proporción en comparación con el resto de variables para que una unidad sea considerada eficiente manteniendo las demás constantes, es decir en un estado de ceteris paribus. En el otro extremo, se encuentra la variable metros cúbicos producidos de acueducto con un aumento igual al 12,61%.

De la misma forma, es importante identificar el número de veces en los cuales se ha identificado una mejora potencial para una variable específica. Por ejemplo, se evidencia que un 71% de las empresas ineficientes deben disminuir sus costos operativos para ser consideradas eficientes. Al analizar las variables input, se identifica que las variables número efectivo de plantas y tamaño de red son las que presentan el mayor número de veces a ser consideradas para que una unidad pase de ser ineficiente a eficiente (en un 57% de los casos). En el otro extremo, se observa que las variables que menos veces aparecen como variables que deben ser modificadas para ser consideradas como una unidad eficiente son metros cúbicos vertidos, metros cúbicos bombeados y calidad de agua cruda (en todos los casos con un valor igual a 29%).

Cuando se analizan los resultados de la participación promedio de las diferentes variables en la determinación del puntaje de eficiencia, se evidencia que las variables metros cúbicos vertidos y calidad de agua cruda son las que mayor aportan en los puntajes de eficiencia (25,02 y 23,02 respectivamente). Por otro lado, se observa que las variables con menos participación son metros cúbicos bombeados de acueducto y alcantarillado con un valor igual a 10,88 y finalmente número efectivo de plantas con un valor igual a 7,32. Al mismo tiempo, se identifica que el 50% de las empresas presentan dos variables como determinantes para el puntaje de eficiencia. Mientras que las empresas EPM, EMCARTAGO y EAAB presentan sólo a una variable como determinante en los puntajes de eficiencia (Ver Tabla 37).

**TABLA 35. PUNTAJE Y MEJORAS POTENCIALES  
- VARIABLES OPERATIVAS**

UNIT NAME	SCORE	MEJORAS POTENCIALES (%)						
		INV_CO	INV_M3 PROD	INV_M3 VERT	INV_M3 BOMB	INV_NUM EFEC	INV_TAM RED	IND CALIDAD
ACUACAR	100.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EMCALI	100.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EPM	100.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
IBAL	100.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EMCARTAGO	100.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SERA QA	100.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACUAVIVA	100.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACUAGYR	91.30	9.0	-5.0	-25.0	0.0	-40.0	-17.0	0.0
EAAB	88.58	12.0	-49.0	-50.0	-77.0	-72.0	0.0	-67.0
PEREIRA	84.48	18.0	0.0	0.0	0.0	-17.0	-10.0	0.0
MANIZALES	71.21	40.0	0.0	0.0	-58.0	0.0	-38.0	-32.0
SERVICIUDAD	64.63	54.0	-2.0	0.0	0.0	-46.0	-46.0	0.0
Promedio	80.04	26.60	-11.20	-15.00	-27.00	-35.00	-22.20	-19.80

\*Este promedio se refiere a las cinco unidades que resultan ineficientes.

Fuente: Estudios de Costos – Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 36. MEJORAS POTENCIALES EN  
LAS VARIABLES SIN TRANSFORMAR**

VARIABLE SIN TRANSFORMACIÓN	MEJORA POTENCIAL	% MEJORAS EN UNIDADES INEFICIENTES
CO	-21.01%	71%
M3_PROD	12.61%	43%
M3_VERT	17.65%	29%
M3_BOMB	36.99%	29%
NUM_EFEC	53.85%	57%
TAM_RED	28.53%	57%
IND_CALIDAD	-19.80%	29%

Fuente: Estudios de Costos – Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 37. CONTRIBUCIONES DEL INPUT - VARIABLES OPERATIVAS**

UNIT NAME	SCORE	INV_M3_PROD	INV_M3_VERT	INV_M3_BOMB	INV_M3_EFEC	INV_NUM_RED	INV_TAM_CALIDAD
ACUACAR	100.00	0.00	0.00	39.60	60.40	0.00	0.00
EMCALI	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.20	81.80
EPM	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IBAL	100.00	48.50	0.00	0.00	0.00	0.00	51.50
EMCARTAGO	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
SERA_QA	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	94.90	5.10
ACUAVIVA	100.00	71.10	0.00	0.00	4.80	0.00	24.10
ACUAGYR	91.30	0.00	0.00	91.00	0.00	0.00	9.00
EAAB	88.58	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
PEREIRA	84.48	34.60	62.00	0.00	0.00	0.00	3.40
MANIZALES	71.21	37.90	39.50	0.00	22.60	0.00	0.00
SERVICIUDAD	64.63	0.00	98.70	0.00	0.00	0.00	1.30
Promedio		16.01	25.02	10.88	7.32	17.76	23.02

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 38. RANKING DE INPUTS DE ACUERDO CON SU CONTRIBUCIÓN A LA DEFINICIÓN DE EFICIENCIA - MUESTRA 346, VARIABLES OPERATIVAS**

INPUT	FRECUENCIA DE CONTRIBUCIÓN (%)	FRECUENCIA DE CONTRIBUCIÓN MÁS IMPORTANTE (%)
INV_M3_PROD	33.3%	8.3%
INV_M3_VERT	33.3%	33.3%
INV_M3_BOMB	16.7%	8.3%
INV_NUM_EFEC	25.0%	8.3%
INV_TAM_RED	25.0%	16.7%
IND_CALIDAD	66.7%	25.0%

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

De la misma manera, se observa las frecuencias de contribución de las diferentes variables en la pasada Tabla. Se evidencia que la variable metros cúbicos bombeados es la que reporta el menor número de veces como variable para determinar el puntaje de eficiencia (igual a 16,7%), mientras que la variable calidad de agua cruda es la que reporta aparece en mayor número. Al analizar qué variable es la que aporta con mayor contribución dentro de las variables que determinan en puntaje de eficiencia, se evidencia que la variable metros cúbicos vertidos al sistema de alcantarillado es

la de mayor contribución con un valor igual a 33,3%. Mientras que las variables metros cúbicos producidos de acueducto, metros cúbicos bombeados y número efectivo de plantas son las variables que en menor número de veces son las que aportan en mayor medida en el puntaje de eficiencia (Ver Tabla 38).

Al analizar la participación de las parejas de comparación se observa que las empresas EMCARTAGO (cinco veces) y ACUAVIVA (tres veces) son la empresas referenciadas con mayor frecuencia.

**TABLA 39. PARTICIPACIÓN DE LAS PAREJAS DE COMPARACIÓN: OPERATIVAS - MUESTRA 346**

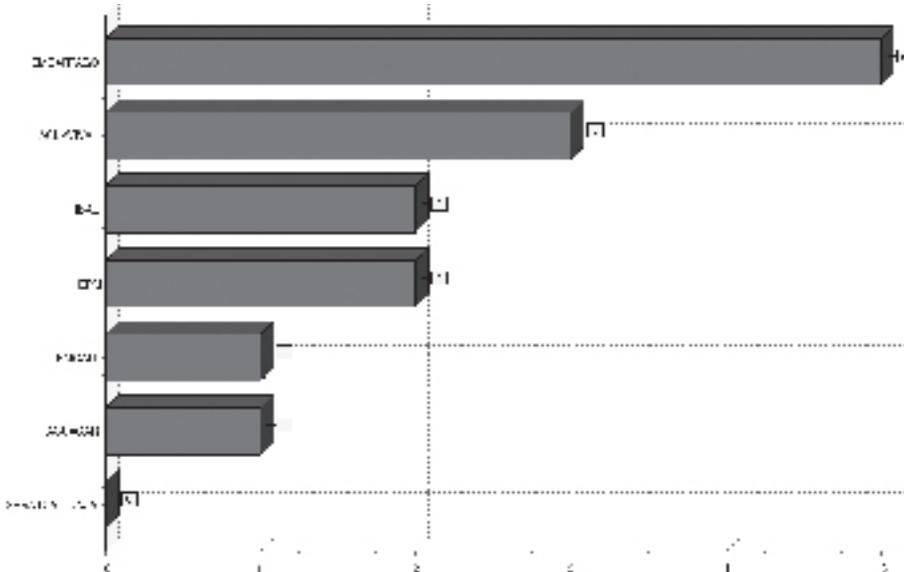
UNIT NAME	$\Sigma\lambda$	PAR 1	$\lambda_1$	PAR 2	$\lambda_2$	PAR 3	$\lambda_3$	PAR 4	$\lambda_4$
ACUACAR	1.000	ACUACAR	1.000						
EMCALI	1.000	EMCALI	1.000						
EPM	1.000	EPM	1.000						
IBAL	1.000	IBAL	1.000						
EMCARTAGO	1.000	EMCARTAGO	1.000						
SERA QA	1.000	SERA QA	1.000						
ACUAVIVA	1.000	ACUAVIVA	1.000						
ACUAGYR	0.968	ACUACAR	0.242	EMCARTAGO	0.726				
EAAB	0.245	EMCALI	0.2454						
PEREIRA	0.850	ACUAVIVA	0.00005	EMCARTAGO	0.158	EPM	0.533	IBAL	0.159
MANIZALES	0.709	ACUAVIVA	0.410782	EMCARTAGO	0.1153	IBAL	0.1829		
SERVICIUDAD	0.776	ACUAVIVA	0.000018	EMCARTAGO	0.619	EPM	0.157		

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Así mismo, el siguiente gráfico presenta la distribución de frecuencias de referencia. Se evidencia que las empresas ineficientes (ACUAGYR, EAAB, PEREIRA, MANIZALES Y SERVICIUDAD) presentan en promedio entre dos o tres unidades como número de pares

utilizadas en la definición del puntaje de eficiencia. En el caso de la empresa ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE PEREIRA, presenta cuatro pares de empresas como referencia (ACUAVIVA, EMCARTAGO, EPM E IBAL).

**GRÁFICO 5. FRECUENCIAS DE REFERENCIA: OPERATIVAS - MUESTRA 346**



Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Seguidamente, se analiza las consideraciones relacionadas con el índice de sensibilidad del modelo. Como ya se indicó, dicho índice hace referencia a qué tanto puede cambiar una unidad antes de convertirse en ineficiente. En la medida en que el índice de estabilidad sea mayor, la unidad estará en la capacidad de incrementar en mayor medida uno o varios insumos sin perder su condición de eficiente. Asimismo, existe una región denominada de imposibilidad, en la cual ante cualquier incremento en los inputs las unidades seguirán siendo eficientes.

La Tabla 40 presenta la estimación de dichos índices de estabilidad para cada variable que se considera en la estimación de los puntajes de eficiencia. De acuerdo a los resultados, se puede señalar que las empresas AGUAS DE MANIZALES, EAAB, ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE PEREIRA, ACUAGYR

Y SERVICIUDAD deben reducir las diferentes variables, multiplicándolas por el factor señalado por el índice de sensibilidad, para pasar de ser empresas ineficientes a eficientes. Por ejemplo, en el caso de la empresa EAAB, debe reducir en un 54% (complemento del índice de sensibilidad) la variable inversa metros cúbicos producidos, o reducir la variable inversa de tamaño de red en un 8%, para ser considerada eficiente.

Por otro lado, se observa que las empresas ACUAVIVA, EMCALI y EMCARTAGO pueden incrementar indefinidamente uno de los insumos manteniendo constante los otros y siguen presentando la condición de eficientes. Por ejemplo, si ACUAVIVA incrementa indefinidamente el insumo invertido metros cúbicos producidos y mantiene constante el resto de variables, la empresa mantiene su condición de eficiente.

**TABLA 40. ÍNDICE DE SENSIBILIDAD EN EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES  
ANÁLISIS POR VARIABLE**

DMU'S	INV_M3PROD	INV_M3VERT	INV_M3BOMB	INV_NUMEFEC	INV_TAMRED	CALIDAD
ACUAVIVA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
ACUACAR	Infeasible	Infeasible	1,93	Infeasible	Infeasible	Infeasible
MANIZALES	0,49	0,58	0,00	0,30	0,24	0,29
EAAB	0,46	0,45	0,21	0,25	0,92	0,30
PEREIRA	0,56	0,78	0,01	0,37	0,40	0,24
ACUAGYR	0,86	0,66	0,91	0,48	0,74	0,69
EMCALI	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMCARTAGO	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
SERA Q.A.	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	1,59	Infeasible
EPM	Infeasible	1,24	87948,62	Infeasible	Infeasible	Infeasible
SERVICIUDAD	0,52	0,64	0,08	0,32	0,21	0,53
IBAL	1,70	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
Promedio I	0,76	0,73	12564,54	0,35	0,68	0,41

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. I Promedios simples, utilizando los valores numéricos únicamente.

De igual manera, se realiza un análisis de sensibilidad para cuatro escenarios planteados: El primero utiliza la totalidad de las variables para el análisis, en el segundo se incluye únicamente las variables que entran in-

vertidas al modelo, el tercer escenario considera la variable que entra de forma directa (calidad de agua cruda) y finalmente el cuarto escenario considera todas las variables salvo la variable metros cúbicos bombeados.

**TABLA 41. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES**

DMU'S	INPUTS_TOTAL	INPUTS_INV.	INPUTS_DIR.	INPUTS EXCLUYENDO M3_BOMB
ACUAVIVA	1,66	1,74	Infeasible	1,66
ACUACAR	1,77	1,91	Infeasible	Infeasible
MANIZALES	0,71	0,71	0,29	0,71
EAAB	0,92	0,92	0,30	0,92
PEREIRA	0,84	0,83	0,24	0,84
ACUAGYR	0,91	0,91	0,69	0,86
EMCALI	3,02	4,57	Infeasible	5,23
EMCARTAGO	2,01	Infeasible	Infeasible	2,23
SERA Q.A.	1,54	1,59	Infeasible	1,54
EPM	1,19	1,19	Infeasible	1,19
SERVICIIDAD	0,65	0,64	0,53	0,65
IBAL	1,66	1,70	Infeasible	1,66
Promedio <sup>1</sup>	1,41	1,52	0,41	1,59
Mediana <sup>1</sup>	1,41	1,36	0,35	1,37

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. <sup>1</sup> Las estadísticas son estimadas utilizando los valores numéricos únicamente.

De esta forma, es posible señalar que en el caso de la empresa EMCALI puede incrementar hasta por un factor de 3,02 y no obstante mantener su condición de eficiente. En el otro extremo se encuentra la empresa SERVICIIDAD la cual puede modificar todos los insumos hasta un factor igual a 0,65. Al mismo tiempo indicar que en promedio, las empresas pueden modificar hasta un valor igual a 1,41 para pasar de empresa eficiente a ineficiente.

Cuando se analiza los escenarios donde se considera si las variables entran de forma indirecta o directa, se evidencia que se requiere de mayores cambios en las variables que entran de forma directa para que una empresa pase a ser considerada eficiente. Situación que es confirmada a través de la mediana. Igualmente,

se evidencia la presencia de una mayor cantidad de unidades que están en la región de imposibilidad si se considera sólo los input que entran de forma directa. Situación o región que no se presenta cuando se considera la totalidad de variables (escenario uno).

De la misma forma se evidencia que cuando se analiza la sensibilidad para cada input, los metros cúbicos bombeados es la variable que se puede modificar en mayor puntaje y que la unidad o empresa siga siendo eficiente. De igual forma, se observa que al comparar los modelos que incluyen todas las variables contra el modelo que descarta sólo la variable metros cúbicos bombeados, el promedio de cambiar de ser una empresa eficiente a ineficiente es mayor en el segundo caso.

**VARIABLES OPERATIVAS - RESOLUCIÓN CRA  
346 DE 2005: EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE  
2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES**

Se desarrolla el análisis para las empresas que tienen entre 2.500 y 25.000 suscriptores, pertenecientes a la muestra de empresas definidas por la Resolución CRA 346 de 2005. De igual forma se identifica las empresas ineficientes, un análisis de los puntajes asignados, definición de mejoras potenciales, participación de los productos o insumos en la determinación de sus respectivos puntajes de eficiencia y la identificación de las empresas que actúan como referencia.

Al analizar el puntaje de eficiencia, se observa que el 65,2% de las unidades de la muestra presentan un puntaje de eficiencia igual al 100%, superior al que se presenta en la muestra de empresas con más de 25.000 suscriptores. Al mismo tiempo, se identifica que el puntaje promedio de todas las empresas de la muestra de empresas entre 2.500 y 25.000 suscriptores es superior en un valor igual a 0,63% con respecto a la muestra de empresas con más de 25.000 suscriptores. Mientras que el puntaje promedio de las empresas ineficientes es superior en la muestra de empresas con más de 25.000 suscriptores (mayor en un valor igual a 2,14%) (Ver Tabla 42).

**TABLA 42. PUNTAJE Y MEJORAS POTENCIALES - VARIABLES ADMINISTRATIVAS: 2.500 - 25.000 SUSCRIPTORES**

UNIT NAME	SCORE	MEJORAS POTENCIALES (%)						CALIDAD
		INV_CO	INV_M3 PROD	INV_M3 VERT	INV_M3 BOMB	INV_NUM EFEC	INV_TAM RED	
CONHYDRA S.A E.S.P. - MARINILLA	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EMPOCALDAS-VITERBO	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EMPOCALDAS - I	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EMPOCALDAS- SUPIA	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EMPOCALDAS- LA DORADA	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EMPOCALDAS - 2	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CONHYDRA S.A E.S.P. - CHIGORODO	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LA CIMARRONA	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A.A.S.SANTA ROSA DE OSOS	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OPERADORES - FREDONIA	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EMPOCALDAS- RIOSUCIO	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A.A.S.AMALFI	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
INGENIERIA TOTAL - BOLIVAR	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A.A.S.SAN PEDRO	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OPERADORES - SANTA BARBARA	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CONHYDRA S.A E.S.P. - ANTIOQUIA	96,02	4,0	0,0	0,0	-9,0	-6,0	-44,0	0,0
EMPOCALDAS- NEIRA	89,95	11,0	-29,0	-9,0	-60,0	0,0	0,0	0,0
INGENIERIA TOTAL - ANDES	88,51	12,0	-1,0	0,0	0,0	-38,0	-12,0	0,0
EMPOCALDAS- SALAMINA	86,36	15,0	-21,0	-27,0	-28,0	0,0	0,0	-12,0
EMPOCALDAS- ANSERMA	85,06	17,0	-19,0	0,0	-77,0	0,0	0,0	-27,0
CONHYDRA S.A E.S.P. - SONSON	74,43	34,0	0,0	0,0	0,0	-46,0	-8,0	0,0
EPM - CALDAS	69,68	43,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-80,0	-29,0
EPM - BARBOSA	33,22	201,0	0,0	0,0	-8,0	-1,0	-52,0	0,0
Promedio	77,90	42,13	-8,75	-4,50	-22,75	-11,38	-24,50	-8,50

Este promedio se refiere a las ocho unidades que resultan ineficientes.

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Al mismo tiempo, la anterior Tabla permite identificar las mejoras potenciales correspondientes a cada variable. Dichas mejoras potenciales como ya se indicó, son expresadas como la reducción en un input o el incremento en un output que debe experimentar una unidad ineficiente para ser considerada eficiente. Todas las empresas ineficientes pueden incrementar su producto, el inverso de los costos operativos, manteniendo constantes los input y logran ser unidades eficientes. En promedio, todas las empresas deben aumentar esta variable en 42,13% sus costos operativos. Se observa que la unidad que debe realizar mayor esfuerzo si desea ser eficiente y sólo variaría sus costos operativos es EPM-BARBOSA con un valor igual a 201,0%. Por otra parte, al analizar los inputs, se observa que la variable tamaño de red es la que se debe disminuir en mayor medida manteniendo constante el resto de variables, es decir, para que una unidad o empresa promedio sea considerada eficiente debe disminuir el uso de la variable invertida tamaño de red en un valor igual a 24,5%. En el otro extremo se encuentra la variable metros cúbicos vertidos con una reducción de 4,5% para que una unidad sea considerada eficiente.

Debido a que existen variables que entran de forma directa y otras de forma inversa, se debe hacer una modificación de los resultados para que puedan ser comparados. En tal sentido se transforma las variables de tal forma que todas presenten sus mejoras potenciales como si estarían entrando de forma directa. Por lo tanto, para que en promedio una empresa ineficiente sea considerada eficiente debe reducir sus costos operativos en un valor igual a 29,64%. Al analizar los inputs, se identifica que las variables tamaño de red y metros cúbicos bombeados son las que se deben aumentar en mayor medida su uso para que una unidad sea eficiente (32,45% y 29,45% respectivamente). Mientras que en el otro extremo se encuen-

tra la variable calidad de agua cruda, es decir, para que una unidad sea eficiente se debe reducir en un 8,5% la calidad de agua cruda manteniendo el resto de inputs constantes.

Al analizar la contribución de cada input en la determinación del puntaje de eficiencia, se identifica que las variables que entran de forma invertida presentan un promedio igual a 15,01%, mientras que la variable que entra de forma directa (calidad de agua cruda) tiene un promedio de participación en el puntaje de eficiencia igual a 24,48%. De todas las variables que se considera en la estimación del puntaje de eficiencia (tanto de variables que entran de forma invertida como directa) las variables con menos participación en el puntaje son el número efectivo de plantas y los metros cúbicos bombeados (7,65% y 3,39% respectivamente), mientras que las variables con mayor participación son metros cúbicos producidos, metros cúbicos vertidos y calidad de agua cruda.

Al estudiar la variable metros cúbicos bombeados, se observa que EMPOCALDAS, LA CIMARRONA y EPM - CALDAS son a las que presentan la mayor contribución. Al mismo tiempo, se calcula la frecuencia de contribución de cada variable en la muestra y la frecuencia de contribución más importante. El input calidad de agua está presente 82,6% de veces en la determinación de los puntajes de eficiencia de las empresas, mientras que la variable metros cúbicos bombeados está presente en sólo 30,4%. Analizando que variable es la más importante de las variables que determinan el puntaje de eficiencia, se observa que metros cúbicos producidos es la variable con mayor contribución en 52,2% de los casos. Mientras que en el otro extremo, la variable metros cúbicos bombeados en ningún caso es la variable que presente la mayor contribución (seguidas por las variables número efectivo de planta y tamaño de red).

**TABLA 43. MEJORAS POTENCIALES EN LAS VARIABLES SIN TRANSFORMACIÓN**

VARIABLE SIN TRANSFORMACIÓN	%MEJORA POTENCIAL	%MEJORAS EN UNIDADES INEFICIENTES
CO	-29,64%	100%
M3_PROD	9,59%	50%
M3_VERT	4,71%	25%
M3_BOMB	29,45%	63%
NUM_EFEC	12,83%	50%
TAM_RED	32,45%	63%
IND_CALIDAD	-8,5%	38%

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 44. CONTRIBUCIONES DEL INPUT - VARIABLES OPERATIVAS**

UNIT NAME	SCORE	INV_M3 PROD	INV_M3 VERT	INV_M3 BOMB	INV_NUM EFEC	INV_TAM RED	CALIDAD
CONHYDRA S.A E.S.P. - MARINILLA	100,00	41,00	28,00	1,00	24,00	0,00	5,00
EMPOCALDAS-VITERBO	100,00	0,00	0,00	0,00	38,00	62,00	0,00
EMPOCALDAS - I	100,00	58,00	0,00	18,00	5,00	0,00	18,00
EMPOCALDAS- SUPIA	100,00	66,00	0,00	19,00	2,00	0,00	14,00
EMPOCALDAS- LA DORADA	100,00	50,00	13,00	7,00	0,00	10,00	20,00
EMPOCALDAS - 2	100,00	43,00	30,00	0,00	0,00	0,00	27,00
CONHYDRA S.A E.S.P. - CHIGORODO	100,00	87,00	0,00	0,00	0,00	4,00	10,00
LA CIMARRONA	100,00	0,00	80,00	15,00	0,00	0,00	4,00
A.A. S.SANTA ROSA DE OSOS	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	91,00
OPERADORES - FREDONIA	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
EMPOCALDAS- RIOSUCIO	100,00	62,00	15,00	0,00	0,00	17,00	7,00
A.A. S.AMALFI	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
INGENIERIA TOTAL - BOLIVAR	100,00	48,00	47,00	0,00	0,00	0,00	5,00
A.A. S.SAN PEDRO	100,00	0,00	97,00	0,00	0,00	0,00	3,00
OPERADORES - SANTA BARBARA	100,00	69,00	5,00	0,00	0,00	0,00	26,00
CONHYDRA S.A E.S.P. - ANTIOQUIA	96,02	46,00	35,00	0,00	0,00	0,00	19,00
EMPOCALDAS- NEIRA	89,95	0,00	0,00	0,00	2,00	26,00	72,00
INGENIERIA TOTAL - ANDES	88,51	0,00	96,00	0,00	0,00	0,00	4,00
EMPOCALDAS- SALAMINA	86,36	0,00	0,00	0,00	44,00	56,00	0,00
EMPOCALDAS- ANSERMA	85,06	0,00	0,00	0,00	61,00	39,00	0,00
CONHYDRA S.A E.S.P. - SONSON	74,43	55,00	21,00	6,00	0,00	0,00	18,00
EPM - CALDAS	69,68	31,00	57,00	12,00	0,00	0,00	0,00
EPM - BARBOSA	33,22	42,00	38,00	0,00	0,00	0,00	20,00
Promedio	92,31	30,35	24,43	3,39	7,65	9,70	24,48

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

**TABLA 45. RANKING DE INPUTS DE ACUERDO CON SUS CONTRIBUCIONES A LA DEFINICIÓN DE EFICIENCIA MUESTRA 346 - EMPRESAS DE 2.500 A 25.000 SUSCRIPTORES. VARIABLES OPERATIVAS.**

INPUT	FRECUENCIA DE CONTRIBUCIÓN (%)	FRECUENCIA DE CONTRIBUCIÓN MÁS IMPORTANTE (%)
INV_M3_PROD	56,5%	52,2%
INV_M3_VERT	56,5%	17,4%
INV_M3_BOMB	30,4%	0,0%
INV_NUM_EFEC	26,1%	4,3%
INV_TAM_RED	34,8%	8,7%
IND_CALIDAD	82,6%	17,4%

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Al analizar la participación de las parejas de comparación se observa que las empresas EMPOCALDAS - VITERBO Y ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTA ROSA DE OSOS son las empresas referenciadas con mayor frecuencia, en el primer caso se presenta como pareja de comparación en seis oportunidades y para la segunda unidad en cuatro ocasiones (Ver Tabla 47).

El análisis del índice de **sensibilidad** para este grupo de empresas muestra que tanto pueden cambiar los inputs antes de convertirse en una unidad ineficiente. Considerando

el efecto que tienen las variables de manera independiente, se observa que en promedio para que una empresa sea calificada como eficiente debe reducir el insumo asociado a metros cúbicos producidos multiplicándolo por un factor igual a 0,83. Al mismo tiempo, cuando se analizan los demás insumos se observa que las variables metros cúbicos vertidos, tamaño de red y calidad de agua cruda deberían aplicar en promedio reducciones similares. Sin embargo, variables como metros cúbicos bombeados y número efectivo de plantas se pueden incrementar en mayores cantidades sin cambiar la condición de eficiente de la empresa.

**TABLA 46. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES**

**ANÁLISIS POR VARIABLE**

DMU'S	INV_M3PROD	INV_M3VERT	INV_M3BOMB	INV_NUMEFEC	INV_TAMRED	CALIDAD
A.A. S.AMALFI	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
A.A. S.SAN PEDRO	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
A.A. S.SANTA ROSA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
CONHYDRA-CHIGORODO	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
CONHYDRA-ANTIOQUIA	0,913	0,889	0,409	0,634	0,339	0,814
CONHYDRA - SONSON	0,621	0,569	0,000	0,374	0,259	0,578
CONHYDRA - MARINILLA	Infeasible	1,467	5,623	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOC- ANSERMA	0,632	0,572	0,000	0,755	0,617	0,583
EMPOC-LA DORADA	1,357	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOC-NEIRA	0,554	0,538	0,00015	0,635	0,612	0,860
EMPOC-RIOSUCIO	1,010	Infeasible	Infeasible	Infeasible	1,038	1,091
EMPOC-SALAMINA	0,614	0,540	0,275	0,738	0,756	0,701

DMU'S	INV_M3PROD	INV_M3VERT	INV_M3BOMB	INV_NUMEFEC	INV_TAMRED	CALIDAD
EMPOC- SUPIA	1,030	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOC-VITERBO	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
LA CIMARRONA	Infeasible	1,525	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EPM – CALDAS	0,616	0,639	0,110	0,133	0,049	0,2190
EPM – BARBOSA	0,280	0,253	9,4867E-06	0,207	0,043	0,214
ING TOTAL - ANDES	0,829	0,880	0,410	0,524	0,525	0,617
ING TOTAL - BOLIVAR	1,084	1,127	Infeasible	Infeasible	Infeasible	1,778
OPER - SANTA BARBARA	1,037	Infeasible	722,617	Infeasible	Infeasible	1,092
OPER - FREDONIA	Infeasible	Infeasible	Infeasible	3332,515	Infeasible	1,177
EMPOC – 1	1,092	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
EMPOC – 2	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible	Infeasible
Promedio <sup>1</sup>	0,833	0,818	72,944	370,724	0,471	0,810

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

<sup>1</sup> Promedios simples, utilizando los valores numéricos únicamente.

**TABLA 47. PARTICIPACIÓN DE LAS PAREJAS DE COMPARACIÓN: OPERATIVAS - MUESTRA 346**

UNIT NAME	$\Sigma\lambda$	PAR 1	$\lambda_1$	PAR 2	$\lambda_2$	PAR 3	$\lambda_3$	PAR 4	$\lambda_4$
A.A.SAMALFI	1,000	1,000	A.A.SAMALFI						
A.A.S.SAN PEDRO	1,000	1,000	A.A.S.SAN PEDRO						
A.A.S.SANTA ROS	1,000	1,000	A.A.S.SANTA ROS						
CONHYDR – CHIGO	1,000	1,000	CONHYDRA – CHIGO						
CONHYDR – ANT	0,867	0,268	EMPOCALDAS-VITER	0,285	LA CIMARRONA	0,314	INGTOTAL - BOL		
CONHYD – SONSON	0,768	0,023	A.A.S.SAN PEDRO	0,643	EMPOCAL-VIT	0,070	INGTOTAL - BOL	0,031	EMPOCAL – 1
CONHY - MARINILLA	1,000	1,000	CONHYDRA – MARIN						
EMPOCALDAS-ANS	0,573	0,384	A.A.S.SANTA ROS	0,189	EMPOCAL-VIT				
EMPOCAL- LA DOR	1,000	1,000	EMPOCALDAS- LA DOR						
EMPOCAL- NEIRA	0,881	0,526	A.A.S.SANTA ROS	0,196	EMPOCAL-VIT	0,158	OPER - FREDONIA		
EMPOCAL- RIOSU	1,000	1,000	EMPOCALDAS- RIOS						
EMPOCALD- SALAM	0,772	0,151	A.A.S.SANTA ROS	0,622	EMPOCAL-VIT				
EMPOCALDAS- SUPIA	1,000	1,000	EMPOCALDAS- SUPIA						
EMPOCALDAS-VITE	1,000	1,000	EMPOCALDAS-VITER						
LA CIMARRONA	1,000	1,000	LA CIMARRONA						
EPM – CALDAS	0,426	0,000	A.A.SAMALFI	0,082	A.A.S.SANTA ROS	0,107	CONHYDRA - MARI	0,237	EMPOCAL - 2
EPM – BARBOSA	0,305	0,035	EMPOCALDAS-VITER	0,031	LA CIMARRONA	0,239	ING TOTAL - BOL		
ING TOTAL-AN	0,815	0,491	A.A.S.SAN PEDRO	0,000	LA CIMARRONA	0,324	EMPOCALDAS – 2		
ING TOTAL BOL	1,000	1,000	ING TOTAL - BOL						
OPER-SANTA B.	1,000	1,000	OPER - SANTA B.						
OPER - FRED	1,000	1,000	OPER - FREDONIA						
EMPOCALDAS – 1	1,000	1,000	EMPOCALDAS – 1						
EMPOCALDAS – 2	1,000	1,000	EMPOCALDAS – 2						

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Al realizar el análisis de sensibilidad por grupos de variables para el grupo de empresas que tienen entre 2.500 y 25.000 suscriptores, se evidencia que las variables que entran en forma directa son más sensibles que las que entran de forma invertida (ver Tabla 48). Es decir, las unidades son más sensibles de pasar de eficientes a ineficientes en el caso donde sólo se considera input que entran de forma directa (calidad de agua cruda).

Finalmente, se analizó la sensibilidad de las unidades o empresas cuando se excluye algunos input que no contribuyen en gran medida en la determinación de los puntajes de eficiencia (m<sup>3</sup> bombeados, número efectivo de plantas y tamaño de red). Al comparar los tres casos con el modelo donde se incluye todos los inputs, se evidencia que los factores de sensibilidad son parecidos, indicando que dichas variables prácticamente no modifican la condición de eficiente de las unidades de la muestra.

**TABLA 48. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES**  
**ANÁLISIS POR GRUPOS DE VARIABLES**

DMU'S	INPUTS TOTAL	INPUTS INV.	INPUTS DIR.	INPUTS EXCLUYENDO M3_BOMB	INPUTS EXCLUYENDO NUMEFEC	INPUTS EXCLUYENDO TAMRED
A.A. S.AMALFI	1,534	Infeasible	Infeasible	1,589	1,534	1,534
A.A. S.SAN PEDRO	1,542	711,226	Infeasible	1,542	1,987	1,542
A.A. S.SANTA ROS	3,998	4,434	Infeasible	4,906	4,000	Infeasible
CONHYDRA – CHIGORODO	1,674	1,674	Infeasible	Infeasible	Infeasible	1,674
CONHYDRA – ANTIOQUIA	0,960	0,953	0,814	0,960	0,960	0,960
CONHYDRA – SONSON	0,744	0,724	0,578	0,743	0,744	0,744
CONHYDRA – MARINILLA	1,296	1,296	Infeasible	1,467	1,296	1,296
EMPOC- ANSERMA	0,851	0,851	0,583	0,851	0,704	0,763
EMPOC- LA DORADA	1,244	1,244	Infeasible	1,244	1,244	1,317
EMPOC- NEIRA	0,900	0,791	0,860	0,900	0,897	0,864
EMPOC- RIOSUCIO	1,006	1,007	1,091	1,006	1,006	1,007
EMPOC- SALAMINA	0,864	0,864	0,701	0,864	0,783	0,738
EMPOC- SUPIA	1,029	1,030	Infeasible	1,029	1,029	1,029
EMPOC- VITERBO	1,215	1,370	Infeasible	1,216	2,112	1,403
LA CIMARRONA	1,389	1,411	Infeasible	1,389	1,389	1,490
EPM - CALDAS	0,697	0,697	0,219	0,657	0,697	0,697
EPM – BARBOSA	0,332	0,306	0,214	0,332	0,332	0,332
ING TOTAL - ANDES	0,885	0,880	0,617	0,885	0,885	0,885
ING TOTAL - BOLIVAR	1,048	1,051	1,778	1,048	1,048	1,048
OPER - SANTA BARBARA	1,026	1,037	1,092	1,026	1,026	1,026
OPER - FREDONIA	1,135	3332,515	1,177	1,135	1,135	1,177
EMPOC – 1	1,064	1,066	Infeasible	1,064	1,073	1,081
EMPOC - 2	1,315	1,315	Infeasible	1,315	1,332	1,315
Promedio <sup>1</sup>	1,206	184,897	0,810	1,235	1,237	1,087
Mediana <sup>1</sup>	1,048	1,044	0,758	1,038	1,038	1,038

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. <sup>1</sup> las estadísticas son estimadas utilizando los valores numéricos únicamente.

### 6.2.2 COMPARACIÓN DEL MODELO DEA FRENTE A SFA

Al igual que en los costos administrativos (CA), se realiza una comparación de los modelos estimados a través de un análisis envolvente de datos (DEA) frente a un análisis de fronteras estocásticas (SFA). En el caso del DEA, se trata de un enfoque no paramétrico donde no es necesario especificar una función particular para describir la tecnología o la frontera de eficiencia. Mientras que SFA es un enfoque paramétrico, donde es necesario especificar una

forma particular de función (Cobb-Douglas, CES, entre otras) para la tecnología. Para poder comparar los diferentes rankings se recurrió al Coeficiente de Correlación de Spearman. En este caso, sólo se puede realizar una comparación entre las empresas que presentan entre 2.500 y 25.000 suscriptores. Esto debido a que en el grupo de empresas grandes, al realizar la estimación a través de la metodología de fronteras estocásticas, el modelo no converge. Los resultados para el caso de las empresas medianas se presentan en la siguiente Tabla:

**TABLA 49. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS SFA Y DEA**

UNIT NAME	SFA	DEA	DIFERENCIA
A.A. S.AMALFI	1	12	11
A.A. S.SAN PEDRO	2	14	12
A.A. S.SANTA ROSA DE OSOS	5	9	4
CONHYDRA S.A E.S.P. - ANTIOQUIA	16	16	0
CONHYDRA S.A E.S.P. - CHIGORODO	19	7	-12
CONHYDRA S.A E.S.P. - MARINILLA	17	1	-16
CONHYDRA S.A E.S.P. - SONSON	9	21	12
EMPOCALDAS - 1	7	3	-4
EMPOCALDAS - 2	23	6	-17
EMPOCALDAS- ANSERMA	18	20	2
EMPOCALDAS- LA DORADA	21	5	-16
EMPOCALDAS- NEIRA	8	17	9
EMPOCALDAS- RIOSUCIO	10	11	1
EMPOCALDAS- SALAMINA	11	19	8
EMPOCALDAS- SUPIA	13	4	-9
EMPOCALDAS-VITERBO	12	2	-10
EPM - BARBOSA	22	23	1
EPM - CALDAS	20	22	2
INGENIERIA TOTAL - ANDES	15	18	3
INGENIERIA TOTAL - BOLIVAR	14	13	-1
LA CIMARRONA	4	8	4
OPERADORES - FREDONIA	3	10	7
OPERADORES - SANTA BARBARA	6	15	9

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Al analizar las diferencias, se observa que las empresas que aparecen en los dos primeros puestos a través de una estimación de análisis envolvente de datos (CONHYDRA S.A. E.S.P. – MARINILLA Y EMPOCALDAS – VITERBO) aparecen en las posiciones 17 y 12 respectivamente. Al comparar las posiciones de las empresas EPM – BARBOSAY EPM – CALDAS a través de los dos métodos de estimación, se encuentra que a través de DEA y SFA ocupan posiciones muy cercanas. La única empresa que presenta la misma posición en el ranking es CONHYDRA S.A. E.S.P. ANTIOQUIA. Así mismo, es posible señalar que el promedio del valor absoluto de la diferencia en las posiciones es de 7,39.

Al comparar los resultados a través del Coeficiente de Correlación de Spearman, permite establecer un índice igual a 0,0721, indicando que no existe una posible relación entre los rankings obtenidos a través de las dos metodologías. Pero al mismo tiempo, es importante indicar que al realizar la prueba de hipótesis sobre la independencia de los resultados, la hipótesis no puede ser rechazada y por ende los resultados no son los mismos.

### 6.2.3 VARIACIONES AL MODELO DEA ACTUAL

#### 6.2.3.1 Efecto del Número de unidades

#### VARIABLES OPERATIVAS - EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES

La capacidad del modelo para determinar unidades ineficientes está determinada por la relación entre el número de variables y el número de observaciones. Es decir, a medida que se incrementa variables o se reduce unidades la estimación de los puntajes de eficiencia se vuelve menos laxo, es decir, las empresas presentan más oportunidad de ser calificadas como eficientes.

Al igual que en el caso de las variables administrativas, el análisis desarrollará: i) Identificación de Empresas Ineficientes, ii) Puntajes asignados, iii) Definición de mejoras potenciales, iv) Participación de los productos o insumos en

la determinación de los puntajes de eficiencia, v) Empresas que actúan como referencia. Los resultados se presentan en la Tabla 50.

#### OBSERVACIONES:

La introducción de un mayor número de unidades, manteniendo los mismos supuestos de la metodología definida en las Resoluciones CRA 287 de 2004 y 346 de 2005, incluyendo los criterios de homogenización permite evidenciar los siguientes cambios en los resultados promedios obtenidos para cada una de las muestras:

- La identificación de las empresas ineficientes se incrementó en un valor igual a 8,33%.
- En cuanto a los puntajes asignados, el valor promedio se redujo tanto para todo el grupo de empresas como para el grupo de empresas ineficientes. En el primer caso, la reducción es de 0,27 y en el segundo 0,09 puntos.
- En el caso de las mejoras potenciales, el producto (CO) presenta un aumento 0,175 puntos porcentuales cuando se compara las unidades de la Resolución CRA 346 frente a la muestra ampliada. Es decir, a consecuencia de la introducción de nuevas variables, las empresas deben aumentar el producto para ser consideradas eficientes.
- En el caso de las mejoras potenciales para los insumos o los inputs, se observa que la introducción de nuevas unidades genera diferentes cambios entre ellas. Por ejemplo, para el caso de las variables m<sup>3</sup> producidos, número efectivo de plantas y calidad de agua la reducción del consumo de dichas variables debe ser menor en la muestra ampliada para ser eficiente. Mientras que en el resto de insumo, el uso de las variables debe ser superior.
- Al analizar la participación de los insumos en los puntajes de eficiencia, se identifica que la variable m<sup>3</sup> vertidos sigue siendo la que tiene mayor partici-

pación. Al mismo tiempo, se encuentra que las variables m<sup>3</sup> bombeados y número efectivo de plantas continúan siendo las que menos aportan en la determinación de los puntajes de eficiencia.

- Como consecuencia del incremento en el número de unidades de la muestra, el input que presenta un mayor aumento en la participación del puntaje de eficiencia es m<sup>3</sup> producidos con un aumento de 9.4 puntos. En el otro extremo, la variable que más disminución tuvo fue número efectivo de plantas (reducción de 5,03 puntos).
- Al analizar la frecuencia de contribución más importante, es decir si la variable es la más importante entre las variables que determinan el puntaje de eficiencia, se evidencia que:
  - En el caso de la muestra de empresas de la Resolución CRA 346 la variable o el input m<sup>3</sup> vertidos seguida por calidad de agua cruda son las de mayor importancia en la contribución de los puntajes de eficiencia.
  - Ya al analizar con la muestra ampliada, las anteriores variables siguen siendo las de mayor importancia. En ambas muestras de empresas, la variable m<sup>3</sup> bombeados es la de menor importancia.
  - Finalmente, indicar que ampliar la muestra de unidades genera que la variable m<sup>3</sup> producidos sea la que mayor crecimiento presenta en la importancia de variables que determinan el puntaje de eficiencia.

**TABLA 50. PARÁMETROS ANALIZADOS EN EL MODELO AMPLIADO EN EL NÚMERO DE UNIDADES**

PARÁMETRO	RESOLUCIÓN CRA 346	RESOLUCIÓN CRA 346 AMPLIADA	DIFERENCIA
<b>Identificación de Empresas Ineficientes</b>	41,67	50,00	8,33
<b>Puntajes asignados</b>			
Promedio	91,68	91,41	-0,276
Promedio Ineficientes	80,04	79,95	-0,090
Mínimo	64,63	64,60	-0,030
Desviación	12,42	12,44	0,018
<b>Mejoras Potenciales<sup>1</sup></b>			
INV_CO	11,33	11,50	0,175
INV_M3PROD	-4,73	-4,00	0,733
INV_M3VERT	-6,40	-6,71	-0,314
INV_M3BOMB	-11,35	-11,86	-0,507
INV_NUM_EFEC_PLA	-14,79	-14,71	0,077
INV_TAM_RED	-9,52	-11,29	-1,769
CALIDAD_AGUA	-8,30	-7,07	1,229
<b>Participación Insumos y Productos</b>			
INV_M3PROD	16,01	25,43	9,420
INV_M3VERT	25,02	27,14	2,126
INV_M3BOMB	10,88	11,93	1,045

PARÁMETRO	RESOLUCIÓN CRA 346	RESOLUCIÓN CRA 346 AMPLIADA	DIFERENCIA
INV_NUM_EFEC_PLA	7,32	2,29	-5,031
INV_TAM_RED	17,76	15,21	-2,544
CALIDAD_AGUA	23,02	18,14	-4,874
<b>Frecuencia de Contribución Más importante</b>			
INV_M3PROD	8,33%	21,43%	13,1%
INV_M3VERT	33,33%	35,71%	2,38%
INV_M3BOMB	8,33%	7,14%	-1,19%
INV_NUM_EFEC_PLA	8,33%	0,00%	-8,33%
INV_TAM_RED	16,67%	14,29%	-2,38%
CALIDAD_AGUA	25,00%	21,43%	-3,57%

*l Promedio de mejoras identificadas, con relación a las variables transformadas de acuerdo con los requerimientos del modelo, para las empresas ineficientes únicamente.*

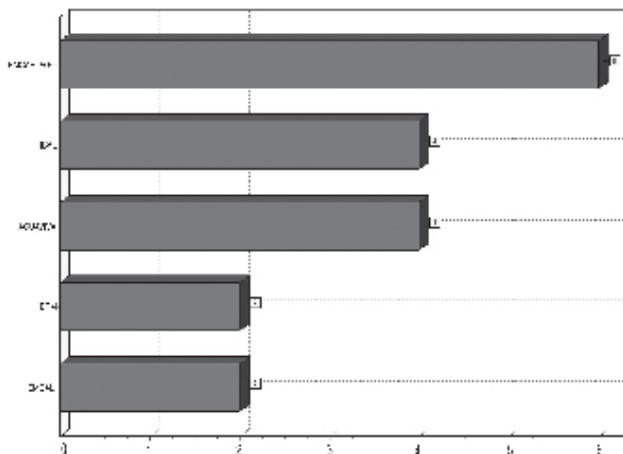
En lo que respecta a la participación de las empresas como pares de comparación se observa lo siguiente en la gráfica 6:

- Las dos empresas que fueron adicionadas a la muestra (AAA y EPA) no son determinantes en la definición de los puntajes de eficiencia.
- Al ampliar la muestra, las empresas EMCARTAGO, IBAL y EMCALI aumen-

tan en una unidad como par de comparación frente al resto de las empresas.

Por otra parte, con el objetivo de analizar la estabilidad de estos resultados, específicamente el efecto que tiene cada unidad sobre las posibles desviaciones en los resultados, se realizó el ejercicio de excluir una unidad diferente en cada iteración y ver sus consecuencias dependiendo de las características de la empresa.

**GRÁFICO 6. FRECUENCIAS DE REFERENCIA: OPERATIVAS - MUESTRA AMPLIADA**



Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

La Tabla 51 presenta información sobre las 14 iteraciones realizadas, en cada iteración se descarta una empresa para poder identificar si las características de dicha empresa generan cambios en los resultados. El promedio de las iteraciones donde se excluye una empresa es igual a 91,73. En este punto es importante observar que la desviación estándar es igual a 0,86, en tal sentido se puede argumentar que

no existen muchos cambios en los puntajes de eficiencia cuando se excluye "X" unidad.

Sin embargo, es posible señalar que el máximo puntaje promedio se obtiene cuando se excluye la empresa SERVICIUDAD, 93,47% de eficiencia, lo cual implica que dicha empresa está jaloneando hacia la baja los resultados; dicho resultado se encuentra más de dos desviaciones por encima del promedio.

**TABLA 51. RESULTADOS 14 ITERACIONES - EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES**

EMPRESA EXCLUIDA	PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	MÍNIMO
AAA	90,746	12,688	64,600
ACUACAR	90,865	12,702	64,600
ACUAGYR	91,403	12,946	64,600
ACUAVIVA	91,938	11,139	64,600
EAAB	91,332	12,943	64,600
EMCALI	91,332	12,943	64,600
EMCARTAGO	92,258	11,289	71,970
EPA	92,575	12,121	64,600
EPM	90,821	12,633	64,710
IBAL	91,692	11,688	64,600
MANIZALES	92,976	11,413	64,600
PEREIRA	91,975	12,756	64,600
SERA Q.A.TUNJA	90,746	12,688	64,600
SERVICIUDAD	93,469	10,154	71,010
Promedio	91,724	12,150	65,592
Desv. Estándar	0,860	0,872	2,506
Mínimo	90,746	10,154	64,600
Máximo	93,469	12,946	71,970

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Siete empresas (AAA, ACUACAR, ACUAVIVA, EMCALI, EMCARTAGO, EPM, IBAL Y SERA Q.A.TUNJA) son las que obtienen el máximo puntaje de eficiencia independientemente del grupo de comparación. Por otra

parte las principales desviaciones se observan en las empresas ACUAGYR, MANIZALES Y SERVICIUDAD. Al mismo tiempo, es importante mencionar que en promedio la desviación estándar de toda la muestra es igual a 1,26.

**TABLA 52. RESULTADOS POR EMPRESA - 14 ITERACIONES EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES**

EMPRESA	PUNT. PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
AAA	100,00	0,00	100,00	100,00
ACUACAR	100,00	0,00	100,00	100,00
ACUAGYR	91,82	2,82	86,02	100,00
ACUAVIVA	100,00	0,00	100,00	100,00
EAAB	92,97	2,03	92,38	100,00
EMCALI	100,00	0,00	100,00	100,00
EMCARTAGO	100,00	0,00	100,00	100,00
EPA	77,04	1,90	76,23	81,63
EPM	100,00	0,00	100,00	100,00
IBAL	100,00	0,00	100,00	100,00
MANIZALES	72,17	2,84	71,01	81,38
PEREIRA	84,78	2,28	84,02	92,62
SERA Q.A.TUNJA	100,00	0,00	100,00	100,00
SERVICIUDAD	65,36	2,60	64,60	74,38

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Por otra parte, es posible comparar los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la Resolución 346 de 2005 y a partir de la muestra ampliada, utilizando los criterios de sensibilidad a través del Coeficiente de Correlación de Spearman.

#### COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN

Dado que las muestras deben contar con el mismo número de observaciones, para tener 14 unidades en la muestra de la Resolución CRA 346 de 2005, las empresas adicionales se incluyen adoptando el valor de PDEA obtenido usando como muestra de comparación las doce empresas definidas por la citada resolución

El valor del Coeficiente de Correlación de Spearman igual a 0,9824 permite establecer que existe dependencia entre los ranking, es decir que la inclusión de un mayor número de unidades no generó grandes o significativos cambios en la clasificación de las empresas. De la misma forma, esto se confirma ya que a través de

una prueba de hipótesis se rechaza la hipótesis nula: ambos ranking son independientes.

#### VARIABLES OPERATIVAS - EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES

Al igual que en el caso de las variables administrativas, la evaluación del efecto que tiene el número de unidades se concentrará en la estimación de los cambios generados por la eliminación de una unidad de la muestra.

La Tabla 53 presenta información sobre 25 iteraciones realizadas entre las unidades de la muestra. En cada iteración se descarta una unidad para poder identificar si las características de dicha empresa varían los puntajes de eficiencia. El promedio del puntaje de eficiencia donde se excluye una empresa es igual a 88,86, menor al que se obtiene en el grupo de empresas con más de 25.000 suscriptores. Al analizar la desviación estándar para las 25 iteraciones se evidencia que no existe mucha variación en los puntajes, la desviación es igual a 1,093 (superior al que se presenta en el grupo de empresas grandes).

Además, es posible señalar que el máximo puntaje promedio se obtiene cuando se excluye la empresa EPS OCAÑA (puntaje promedio igual a 92,63) y el menor puntaje cuando se ex-

cluye la empresa A.A.S. AMALFI (puntaje promedio igual a 88,08). En tal sentido, la exclusión de la primera empresa jalona los puntajes hacia arriba y la exclusión de la segunda hacia abajo.

**TABLA 53. RESULTADOS 25 ITERACIONES - EMPRESAS ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES**

EMPRESA EXCLUIDA	PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	MÍNIMO
A.A. S.AMALFI	88,084	18,809	32,530
A.A. S.SAN PEDRO	88,934	18,839	32,530
A.A. S.SANTA ROSA DE OSOS	88,161	18,819	32,530
CONHYDRA - PUERTO BERRIO	89,014	18,824	32,530
CONHYDRA S.A E.S.P. - MARINILLA	88,084	18,809	32,530
CONHYDRA S.A E.S.P. ANTIOQUIA	88,363	18,939	32,530
CONHYDRA S.A E.S.P. - CHIGORODO	88,532	18,678	32,530
CONHYDRA S.A E.S.P. - SONSON	89,156	18,720	32,530
EMPOCALDAS - 2	88,084	18,809	32,530
EMPOCALDAS - I	88,158	18,822	32,620
EMPOCALDAS- ANSERMA	88,796	18,928	32,530
EMPOCALDAS- LA DORADA	89,549	18,282	32,530
EMPOCALDAS- NEIRA	88,503	18,964	32,530
EMPOCALDAS- RIOSUCIO	88,378	18,943	32,530
EMPOCALDAS- SALAMINA	88,678	18,956	32,530
EMPOCALDAS- SUPIA	88,084	18,809	32,530
EMPOCALDAS- VITERBO	89,450	18,804	33,070
EPM – CALDAS	90,558	15,987	32,530
EPM - BARBOSA	90,895	14,749	40,610
EPS OCAÑA	92,635	15,307	33,220
INGENIERIA TOTAL - ANDES	88,891	18,890	32,530
INGENIERIA TOTAL - BOLIVAR	88,140	18,844	32,530
LA CIMARRONA	88,084	18,809	32,530
OPERADORES - FREDONIA	88,102	18,811	32,530
OPERADORES - SANTA BARBARA	88,084	18,809	32,530
Promedio	88,856	18,398	32,906
Desv. Estándar	1,093	1,171	1,614
Mínimo	88,084	14,749	32,530
Máximo	92,635	18,964	40,610

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

De la misma forma, se puede calcular los puntajes promedios que obtienen las diferentes unidades en estudio en las 25 iteraciones realizadas. Se evidencia que el

40% de las unidades presentan un puntaje de eficiencia igual a 100 en todas las iteraciones, es decir, la inclusión o exclusión de otras variables no la afecta sus puntajes.

**TABLA 54. RESULTADOS POR EMPRESA - 25 ITERACIONES EMPRESAS CON MÁS DE 25.000 SUSCRIPTORES**

EMPRESA	PUNT. PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
A.A. S.AMALFI	100,00	0,00	100,00	100,00
A.A. S.SAN PEDRO	100,00	0,00	100,00	100,00
A.A. S.SANTA ROSA DE OSOS	100,00	0,00	100,00	100,00
CONHYDRA - PUERTO BERRIO	79,00	4,87	77,68	100,00
CONHYDRA S.A E.S.P. - MARINILLA	100,00	0,00	100,00	100,00
CONHYDRA S.A E.S.P. ANTIOQUIA	93,50	0,65	93,30	96,02
CONHYDRA S.A E.S.P. - CHIGORODO	100,00	0,00	100,00	100,00
CONHYDRA S.A E.S.P. - SONSON	74,43	0,74	74,27	78,00
EMPOCALDAS - 2	100,00	0,00	100,00	100,00
EMPOCALDAS - I	99,32	3,42	82,91	100,00
EMPOCALDAS- ANSERMA	82,58	4,01	64,84	90,47
EMPOCALDAS- LA DORADA	67,25	8,47	64,84	100,00
EMPOCALDAS- NEIRA	90,33	1,05	89,95	94,05
EMPOCALDAS- RIOSUCIO	93,00	2,08	85,73	100,00
EMPOCALDAS- SALAMINA	86,90	3,95	85,73	100,00
EMPOCALDAS- SUPIA	100,00	0,00	100,00	100,00
EMPOCALDAS- VITERBO	97,62	11,88	40,61	100,00
EPM - CALDAS	41,47	6,09	32,62	69,68
EPM - BARBOSA	35,28	13,48	32,53	100,00
EPS OCAÑA	99,22	3,88	80,62	100,00
INGENIERIA TOTAL - ANDES	82,45	5,39	80,62	100,00
INGENIERIA TOTAL - BOLIVAR	98,81	0,42	98,64	100,00
LA CIMARRONA	100,00	0,00	100,00	100,00
OPERADORES - FREDONIA	100,00	0,00	100,00	100,00
OPERADORES - SANTA BARBARA	100,00	0,00	100,00	100,00

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Las diferentes iteraciones demuestran que las empresas que se ven más afectadas por la inclusión o exclusión de otras empresas son EPM BARBOSA, EMPOCALDAS VITERBO, EMPOCALDAS LA DORADA, EPM CALDAS Y INGENIERÍA TOTAL ANDES,

las cuales presentan variaciones o desviaciones estándar superiores a cinco puntos, situación diferente a la que ocurre en el grupo de empresas con más de 25.000 suscriptores para los costos operativos.

### 6.2.3.2 Efecto del Número de Variables

Para evaluar el efecto del número de variables se tomaron como referencia los siguientes modelos:

**Modelo 1:** Costo operativo y metros cúbicos producidos de acueducto (variable no controlable).

**Modelo 2:** Costo operativo, metros cúbicos producidos de acueducto (variable no controlable) y metros cúbicos vertidos al sistema de alcantarillado facturados por el prestador (variable no controlable).

**Modelo 3:** Costo operativo, metros cúbicos producidos de acueducto (variable no controlable), metros cúbicos vertidos al sistema de alcantarillado facturados por el prestador (variable no controlable) y número efectivo de plantas (variable no controlable).

**Modelo 4:** Costo operativo, metros cúbicos producidos de acueducto (variable no controlable), metros cúbicos vertidos al sistema de alcantarillado facturados por el prestador (variable no controlable), número efectivo de plantas (variable no controlable) y calidad promedio de agua cruda (variable no controlable).

**Modelo 5:** Costo operativo, metros cúbicos producidos de acueducto (variable no controlable), metros cúbicos vertidos al sistema de alcantarillado facturados por el prestador (variable no controlable), número efectivo de plantas (variable no controlable), calidad promedio del agua cruda (variable no controlable) y tamaño de redes (variable no controlable).

**Modelo 6:** Costo operativo, metros cúbicos producidos de acueducto (variable no controlable), metros cúbicos vertidos al sistema de alcantarillado facturados por el prestador (variable no controlable), número efectivo de plantas (variable no controlable), calidad promedio del agua cruda (variable no controlable), tamaño de redes (variable no controlable) y volumen de metros cúbicos bombeados de acueducto y alcantarillado sobre la producción total.

Al igual que en el caso de los costos administrativos, estos modelos fueron aplicados de manera independiente para los dos Grupos de Empresas (Empresas Grandes con más de 25.000 suscriptores y Empresas que tienen entre 2.500 y 25.000 suscriptores). De la misma manera, se recurre al Coeficiente de Spearman para comparar la consistencia de los resultados, tanto por la inclusión o remoción de variables, como para comparar los resultados que se obtienen a través de la metodología de Análisis Envoltante de Datos (DEA) como a través de Fronteras Estocásticas (SFA).

#### VARIABLES OPERATIVAS - EMPRESAS CON MÁS DE 25.000

La siguiente tabla presenta los cambios en los resultados del modelo, derivados del incremento en el número de variables. El análisis comprende la identificación de empresas ineficientes, puntajes asignados, definición de mejoras potenciales y participación de los insumos en la determinación de los puntajes de eficiencia para un análisis DEA.

**TABLA 55. PARÁMETROS ANALIZADOS A CONSECUENCIA DE CAMBIOS EN EL NÚMERO DE VARIABLES**  
**VARIABLES OPERATIVAS**

	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6
Promedio	75,45	80,61	81,83	87,61	91,68
Mínimo	40,52	40,52	40,52	60,85	64,63
Desviación	19,55	19,84	19,46	14,03	12,42
Promedio Ineficientes	70,54	74,15	75,78	78,75	80,04
Mínimo Ineficientes	40,52	40,52	40,52	60,85	64,63
Desviación Ineficientes	17,51	18,80	18,86	11,90	11,56
<b>Mejoras Potenciales</b>					
INV_CO	51,07	44,57	41,58	29,54	27,18
INV_M3PRODAC	0,00	0,00	0,00	-7,09	-11,36
INV_M3VERT	0,00	0,00	-3,38	-15,50	-15,36
INV_N°EFECPLA		-22,00	-24,71	-21,23	-27,24
CALIAGUA			-44,39	-28,97	-35,50
INV_TAMRED				-43,43	-22,84
INV_M3BOMB					-19,92
<b>Participación Insumos y Productos</b>					
INV_M3PRODAC	57,21	40,47	61,46	45,39	16,01
INV_M3VERT	42,79	38,29	19,58	9,68	25,02
INV_N°EFECPLA		21,25	6,31	9,36	10,88
CALIAGUA			12,67	19,06	7,32
INV_TAMRED				16,53	17,76
INV_M3BOMB					23,02

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

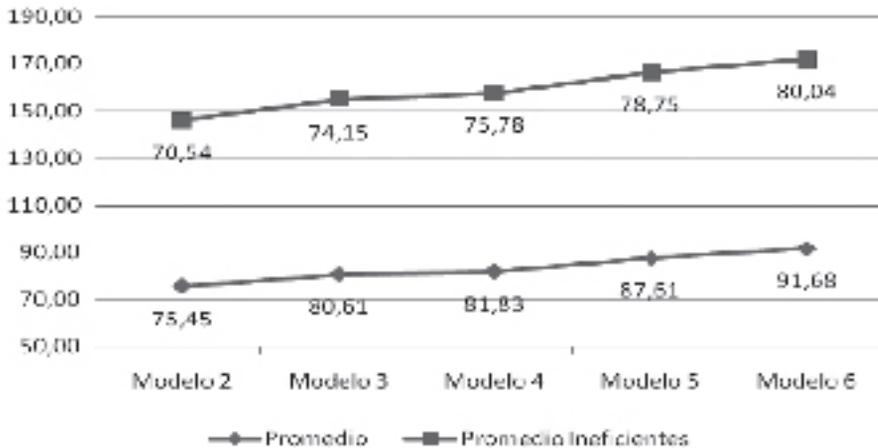
La introducción de un mayor número de variables genera los siguientes cambios en los resultados promedio obtenidos para los modelos presentados anteriormente:

- A medida que se incrementa el número de variables en los modelos, el promedio de los puntajes de eficiencia van en aumento tanto para el promedio donde se incluye a todas las empresas, como para el promedio de empresas ineficientes (aquellas que presentan puntajes por debajo de 100). En el caso de los costos operativos, la introduc-

ción de una variable genera incrementos en los puntajes de eficiencia, y en ningún caso se llegan a estabilizar como sucede en el caso de los costos administrativos.

De la misma forma, se evidencia que la desviación estándar en el puntaje eficiencia de todas las empresas se reduce aproximadamente en un 57% de pasar del Modelo 2 al Modelo 6. Mientras que la desviación estándar en el caso de las empresas ineficientes, se reduce en un 51.47%.

**GRÁFICO 7. INCREMENTO DE LOS PUNTAJES DE EFICIENCIA A CONSECUENCIA DE LA INTRODUCCIÓN DE VARIABLES OPERATIVAS**

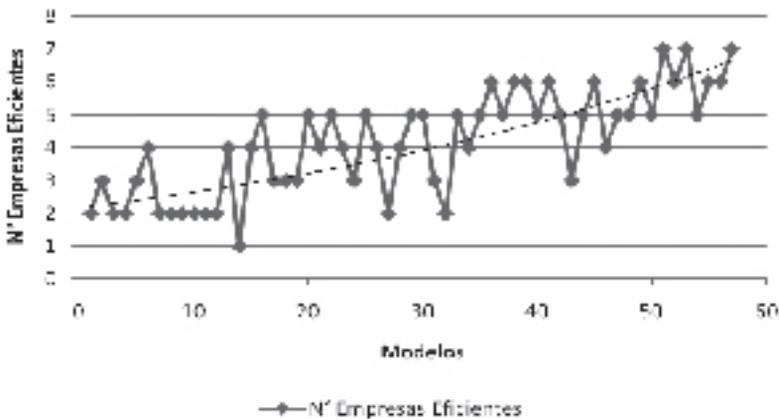


Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

En tal sentido, a medida que se introducen variables a los modelos (pasar del modelo 2 al modelo 3 al modelo 4 y así sucesivamente), la estimación de los puntajes es

menos rigurosa y las empresas tienen más opciones de ser consideradas como empresas eficientes y obtener el máximo puntaje.

**GRÁFICO 8. INCREMENTO EN EL NÚMERO DE EMPRESAS EFICIENTES A CONSECUENCIA DE LA INTRODUCCIÓN DE VARIABLES**



Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

- En el caso de las mejoras potenciales, es decir el porcentaje que deben cambiar las variables para que la empresa sea calificada como eficiente, se evidencia que la variable costo administrativo presenta rendimientos decrecientes a escala (a medida que se incrementa el número de variables, dicha variable debe incrementarse pero cada vez en menor cantidad). Analizando el resto de variables (m<sup>3</sup> producidos de acueducto, m<sup>3</sup> vertidos, número efectivo de plantas, calidad de agua cruda, tamaño de red y m<sup>3</sup> bombeados), se observa que a medida que pasamos de un modelo a otro, las mejoras potenciales indican que dichas variables deben ser utilizadas en menor medida.
- Al analizar la participación de las variables en la determinación de los puntajes de eficiencia en los modelos propuestos, se evidencia que las variables m<sup>3</sup> producidos de acueducto, m<sup>3</sup> vertidos al sistema de alcantarillado y calidad de agua cruda son las variables que siempre reportan la mayor participación. De la misma forma, al analizar todos los modelos que se pueden construir con las diferentes combinaciones de las variables (63 modelos, combinaciones de dos, tres, cuatro, cinco y seis variables), se obtiene los siguientes promedios de participación de las variables:

Se evidencia que en las diferentes combinaciones, las variables m<sup>3</sup> producidos de acueducto, m<sup>3</sup> vertidos al sistema de alcantarillado y calidad de agua cruda son la que presentan el mayor aporte en la determinación de los puntajes de eficiencia. Por el otro lado se encuentran las variables número efectivo de plantas y por último la variable m<sup>3</sup> bombeados.

**TABLA 56. PARTICIPACIÓN DE LAS VARIABLES EN LOS DIFERENTES MODELOS**

	PROMEDIO					
	TODAS	2 VARIABLES	3 VARIABLES	4 VARIABLES	5 VARIABLES	6 VARIABLES
INV_M3PRODAC	46,62	68,87	51,93	40,98	31,15	16,01
INV_M3VERT	45,09	73,42	48,58	36,77	27,55	25,02
CALIAGUA	26,76	47,55	28,09	20,23	20,76	23,02
INV_TAMRED	24,41	38,26	25,62	20,29	17,53	17,76
INV_NºEFECPLA	23,54	49,95	25,32	16,45	10,96	7,32
INV_M3BOMB	17,46	25,61	19,01	15,20	12,05	10,88

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Se identifica que las variables número efectivo de plantas y m<sup>3</sup> bombeados son las variables que aportan en menor medida en la asignación de los puntajes de eficiencia. En tal sentido, la siguiente tabla presenta los puntajes de las diferentes empresas para los siguientes modelos donde se excluyen las variables m<sup>3</sup> bombeados y número efectivo de plantas (en total se construyeron 63 modelo a través

de una combinación de las seis variables que considera el análisis envolvente de datos).

**Modelo A:** M<sup>3</sup> producidos de acueducto, m<sup>3</sup> vertidos al sistema de alcantarillado, tamaño de redes y calidad promedio del agua cruda.

**Modelo B:** M<sup>3</sup> producidos de acueducto, m<sup>3</sup> vertidos al sistema de alcantarillado, m<sup>3</sup> bombeados de acueducto y alcantarillado, tamaño de redes y calidad promedio del agua cruda.

**Modelo C:** M<sup>3</sup> producidos de acueducto, m<sup>3</sup> vertidos al sistema de alcantarillado, número efectivo de plantas, tamaño de redes y calidad promedio del agua cruda.

**Modelo D:** M<sup>3</sup> producidos de acueducto, m<sup>3</sup> vertidos al sistema de alcantarillado, m<sup>3</sup> bombeados de acueducto y alcantarillado, número efectivo de plantas, tamaño de redes y calidad promedio del agua cruda.

**TABLA 57. PUNTAJES DE EFICIENCIA DE MODELOS ESCOGIDOS**

	MODELO A	MODELO B	MODELO C	MODELO D
<b>ACUACAR</b>	68,74	100,00	73,79	100,00
<b>ACUAGYR</b>	81,82	91,30	81,85	91,30
<b>ACUAVIVA</b>	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>EAAB</b>	88,58	88,58	88,58	88,58
<b>EMCALI</b>	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>EMCARTAGO</b>	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>EPM</b>	97,21	100,00	97,21	100,00
<b>IBAL</b>	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>MANIZALES</b>	66,94	66,94	71,21	71,21
<b>PEREIRA</b>	72,58	84,48	77,77	84,48
<b>SERA Q.A. TUNJA</b>	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>SERVICIUDDAD</b>	60,85	64,63	60,85	64,63
<b>PROMEDIO</b>	86,39	91,33	87,61	91,68
<b>PROMEDIO INF.</b>	76,67	79,19	78,75	80,04
<b>DESVIACIÓN EST.</b>	15,38	13,10	14,03	12,42

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Al comparar el modelo A y el modelo D, el promedio de eficiencia de las empresas se reduce en un 5,29, superior al que se registra en el resto de modelos. Se evidencia que la diferencia de incluir o descartar la variable número efectivo de plantas afecta en el puntaje a una empresa (Manizales) con una reducción del puntaje del 4,27. Mientras que la variación por la introducción o exclusión de la variable m<sup>3</sup> bombeados de acueducto y alcantarillado afecta al 40% aproximadamente de las empresas de la muestra. Este cambio en el puntaje de eficiencia afecta primordialmente a aquellas empresas que presentan los mayores m<sup>3</sup> bombeados, por ejemplo ACUACAR y ACUAGYR. En este

punto es importante indicar que dicha variable debe ser considerada como un costo de operación no comparable, y que en el caso de las otras empresas que no presentan dicho costo en su proceso de operación no afecta su puntaje (por ejemplo MANIZALES y ACUAVIVA).

El siguiente paso es comparar las posiciones de los rankings de las empresas de los seis modelos a través de un análisis envolvente de datos (DEA) y/o de un análisis de fronteras estocásticas (SFA) a través del Coeficiente de Spearman, para identificar cambios en posiciones tanto dentro de una misma técnica como entre técnicas.

**TABLA 58. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS OPERATIVOS - EMPRESAS GRANDES - ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA)**

	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6
Modelo 2	1,0000 (0,0000)	0,9441 (0,0000)	0,9231 (0,0000)	0,7483 (0,0051)	0,4825 (0,1121)
Modelo 3		1,0000 (0,0000)	0,9650 (0,0000)	0,7063 (0,0102)	0,4336 (0,1591)
Modelo 4			1,0000 (0,0000)	0,7622 (0,0040)	0,4336 (0,1591)
Modelo 5				1,0000 (0,0000)	0,5874 (0,0000)
Modelo 6					1,0000 (0,0000)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test Ho: Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

En la anterior Tabla, observamos los diferentes Coeficientes de Spearman para un análisis envolvente de datos. Los diferentes resultados indican cambios en las posiciones del ranking de las empresas a consecuencia de la introducción de nuevas variables en el modelo analizado. En este caso, interesa observar los remarcados ya que indican cambios por la introducción de una variable. Por ejemplo, el Coeficiente de Correlación de Spearman de pasar del modelo dos al modelo tres, es decir adicionar la variable número efectivo de plantas, es igual a 0,94 con una significancia del 1%, 5% y 10%. Este resultado indica que existe dependencia entre dichos ranking. De la misma forma, se evidencia que el menor Coeficiente cuando se incrementa una variable (diagonal remarcada) es

cuando se adiciona la variable metros cúbicos bombeados de acueducto y alcantarillado.

Seguidamente, se presenta los diferentes Coeficientes de Correlación de Spearman que se obtiene para un análisis de fronteras estocásticas (SFA). Se observa que para todos los modelos existe evidencia de dependencia entre ellos. Principalmente, se observa a través de los Coeficientes, que incrementar una variable al modelo no genera grandes cambios en las posiciones de los rankings.

Los menores Coeficientes (muy cercanos a la unidad) se presentan cuando se incrementa las variables calidad promedio de agua cruda y tamaño de redes respectivamente, en ambos casos siendo igual a 0,986.

**TABLA 59. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS OPERATIVOS - EMPRESAS GRANDES - FRONTERAS ESTOCÁSTICAS (FE)**

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5
Modelo 1	1,0000 (0,0000)	1,0000 (0,0000)	0,9930 (0,0000)	0,9930 (0,0000)	0,9930 (0,0000)
Modelo 2		1,0000 (0,0000)	0,9930 (0,0000)	0,9930 (0,0000)	0,9930 (0,0000)
Modelo 3			1,0000 (0,0000)	0,9860 (0,0000)	1,0000 (0,0000)
Modelo 4				1,0000 (0,0000)	0,9860 (0,0000)
Modelo 5					1,0000 (0,0000)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test Ho: Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

Por otra parte, es posible evaluar la validez de un análisis envolvente de datos, comparando los resultados obtenidos usando fronteras estocásticas. Lo interesante de esta estimación,

es observar el Coeficiente de Correlación de Spearman entre el mismo modelo pero entre diferentes formas de estimarlo.

**TABLA 60. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS OPERATIVOS - EMPRESAS GRANDES - DEA Y FE ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA)**

		MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6
<b>Fronteras Estocásticas (FE)</b>	<b>Modelo 1</b>	0,1049 (0,7456)	0,3077 (0,3306)	0,4196 (0,1745)	0,0629 (0,8459)	-0,2308 (0,4705)
	<b>Modelo 2</b>		0,3077 (0,3306)	0,4196 (0,1745)	0,0629 (0,8459)	-0,2308 (0,4705)
	<b>Modelo 3</b>			0,4825 (0,1121)	0,1189 (0,7129)	-0,1958 (0,5419)
	<b>Modelo 4</b>				0,049 (0,8799)	-0,2238 (0,4845)
	<b>Modelo 5</b>					-0,1958 (0,5419)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test Ho: Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

Lo importante en esta comparación de análisis se observa en los valores sombreados, donde se compara el mismo modelo a través de DEA y de FE. En todos los casos, los Coeficientes de Correlación de Spearman son menores a 0,5, y en todos los casos se acepta la hipótesis nula, es decir, los modelos son independientes.

**VARIABLES OPERATIVAS - EMPRESAS QUE TIENEN ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES**

La Tabla 61 presenta información sobre cambios en los modelos a consecuencia del incremento del número de variables para el grupo de empresas que tienen entre 2.500 y 25.000 suscriptores.

**TABLA 61. PARÁMETROS ANALIZADOS A CONSECUENCIA DE CAMBIOS EN EL NÚMERO DE VARIABLES**

	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6
Promedio	73,66	81,38	87,57	90,38	92,31
Mínimo	28,12	30,58	33,22	33,22	33,22
Desviación	17,34	18,68	17,53	16,44	15,57
Promedio Ineficientes	69,71	73,23	76,18	77,87	77,90
Mínimo Ineficientes	28,12	30,58	33,22	33,22	33,22
Desviación Ineficientes	14,90	16,71	17,85	18,80	19,95

	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6
<b>Mejoras Potenciales</b>					
INV_CO	53,10	46,44	41,58	40,30	42,13
INV_M3PRODAC	-0,65	-3,00	-0,73	-6,90	-8,75
INV_M3VERT	-5,40	-1,44	-5,25	-8,20	-4,50
INV_M3BOMB					-22,75
INV_NºEFECPLA		-8,25	-20,83	-18,70	-11,38
INV_TAMRED				-30,60	-24,50
CALIAGUA			0,00	-3,90	-8,50
<b>Participación Insumos y Productos</b>					
INV_M3PRODAC	45,04	45,09	40,83	36,00	30,35
INV_M3VERT	54,96	32,17	20,70	19,70	24,43
INV_M3BOMB					3,39
INV_NºEFECPLA		22,74	10,35	7,09	7,65
INV_TAMRED				10,87	9,70
CALIAGUA			28,09	26,35	24,48

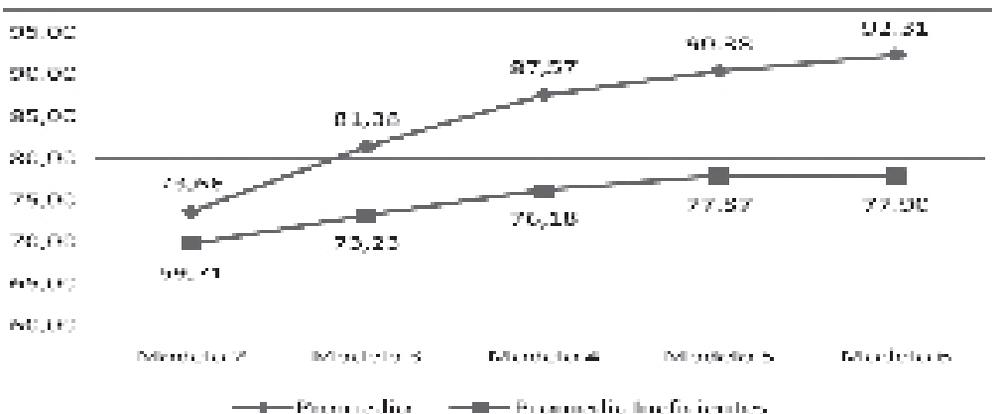
Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Los principales cambios que se presentan en los modelos son los siguientes:

- A medida que se introduce un mayor número de variables, los puntajes de eficiencia aumentan tanto para todo el grupo de empresas como para el grupo que solo considera a las empresas ineficientes (puntajes menores a 100). En el caso de la desviación estándar para el grupo de

todas las empresas, ésta va disminuyendo (reducción del 11,7%). Al mismo tiempo se evidencia que el valor mínimo va en aumento, pasando de un valor igual a 28,12 en el modelo 2 a 33,22 en el modelo 6. En tal sentido, a medida que se incrementa el número de variables al modelo, los puntajes obtenidos son menos rigurosos y las empresas presentan mayores facilidades de ser consideradas como eficientes.

### GRÁFICO 9. INCREMENTO DE LOS PUNTAJES DE EFICIENCIA A CONSECUENCIA DE LA INTRODUCCIÓN DE VARIABLES



Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

- Al mismo tiempo, se evidencia que las mejoras potenciales que deben realizar las empresas para ser consideradas como eficientes van disminuyendo a medida que se aumentan variables. Por ejemplo en el caso de la variable costo operativo, en promedio la empresa debe reducir dicha variable en un 26% pasando del modelo 2 al 6. Con excepción de la variable costo operativo, el uso del resto de variables debe disminuir. Por ejemplo, en el caso de pasar del modelo 5 al 6, la variable metros cúbicos vertidos debe reducirse en 4,5.
  - Al analizar la participación de los insumos en el producto, se observa que las variables metros cúbicos producidos de acueducto, metros cúbicos vertidos al sistema de alcantarillado y calidad promedio del agua cruda son las que presentan participaciones superiores al 20% en los diferentes modelos. Mientras que variables tamaño de red, número efectivo de plantas y metros cúbicos bombeados las que presentan menor participación. Por ejemplo, en el caso del modelo 6, la variable metros cúbicos bombeados sólo representa un 3,39%.
- En tal sentido, se presentan los puntajes de eficiencia de los modelos también propuestos en los costos operativos para empresas con más de 25.000 suscriptores. En dichos modelos se excluye las variables metros cúbicos bombeados, número efectivo de plantas y ambas variables simultáneamente, para compararlos con el modelo que incluye todas las variables (Modelo D).

**TABLA 62. PUNTAJES DE EFICIENCIA DE MODELOS ESCOGIDOS**

	MODELO A	MODELO B	MODELO C	MODELO D
A.A. S.AMALFI	100	100	100	100
A.A. S.SAN PEDRO	100	100	100	100
A.A. S.SANTA ROSA DE OSOS	100	100	100	100
CONHYDRA S.A E.S.P. - MARINILLA	79,87	100	81,47	100
CONHYDRA S.A E.S.P. - ANTIOQUIA	96,02	96,02	96,02	96,02
CONHYDRA S.A E.S.P. - CHIGORODO	84,27	100	100	100
CONHYDRA S.A E.S.P. - SONSON	74,28	74,43	74,28	74,43
EMPOCALDAS - 2	100	100	100	100
EMPOCALDAS - I	100	100	100	100
EMPOCALDAS- ANSERMA	70,35	70,35	85,06	85,06
EMPOCALDAS- LA DORADA	100	100	100	100
EMPOCALDAS- NEIRA	86,19	86,19	89,95	89,95
EMPOCALDAS- RIOSUCIO	100	100	100	100
EMPOCALDAS- SALAMINA	74,97	74,97	86,36	86,36
EMPOCALDAS- SUPIA	100	100	100	100
EMPOCALDAS- VITERBO	100	100	100	100
EPM - CALDAS	58,89	69,51	58,89	69,68
EPM - BARBOSA	33,22	33,22	33,22	33,22
INGENIERIA TOTAL - ANDES	82,09	88,51	82,09	88,51
INGENIERIA TOTAL - BOLIVAR	100	100	100	100
LA CIMARRONA	100	100	100	100
OPERADORES - FREDONIA	99,46	99,46	100	100
OPERADORES - SANTA BARBARA	91,4	100	91,4	100
PROMEDIO	88,30	90,99	90,38	92,31
PROMEDIO INEFICIENTES	77,58	76,96	77,87	77,90
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	17,09	16,54	16,44	15,57

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Se observa que el promedio de los puntajes de eficiencia para el total de la muestra se reduce en un 4,01 si se excluye la variable metros cúbicos bombeados, en 1,32 puntos si se excluye número efectivo de plantas y 1,93 puntos si se excluye ambas al mismo tiempo. Al analizar los promedios de sólo las empresas ineficientes, la mayor reducción se presenta cuando se elimina la variable número efectivo de plantas, siendo igual a 0,94.

En caso que la variable excluida sea metros cúbicos bombeados de acueducto y alcantarillado, las empresas CONHYDRA S.A E.S.P. – MARINILLA y CONHYDRA S.A E.S.P. – CHIGORODO son las mayores afectadas con una reducción de 20,13 y 15,73 puntos respectivamente. En este punto es importante indicar que dichas empresas son las

que representan los mayores niveles de metros cúbicos bombeados (en este caso, dicha variable se puede considerar como un insumo no comparable entre empresas).

Seguidamente, se observa los Coeficientes de Correlación de Spearman tanto a través de un análisis envolvente de datos, fronteras estocásticas y ambos simultáneamente para verificar la consistencia de los resultados. Al analizar los Coeficientes, se evidencia que el Coeficiente de Spearman presenta como un valor que no cambia entre los modelos 3, 4 y 5. Por otro lado, se generan cambios cuando se pasa del modelo 5 al 6 (Coeficiente de Correlación igual a 0,63). Es decir, variable m<sup>3</sup> bombeados de acueducto y alcantarillado es la variable que a consecuencia de su introducción genera los mayores cambios.

**TABLA 63. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN: COSTOS OPERATIVOS - EMPRESAS PEQUEÑAS - ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA)**

	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6
Modelo 2	1,0000 (0,0000)	0,8567 (0,0000)	0,7460 (0,0000)	0,6186 (0,0017)	0,6630 (0,0006)
Modelo 3		1,0000 (0,0000)	0,8403 (0,0000)	0,7036 (0,0002)	0,7717 (0,0000)
Modelo 4			1,0000 (0,0000)	0,8162 (0,0000)	0,6957 (0,0002)
Modelo 5				1,0000 (0,0000)	0,6294 (0,0013)
Modelo 6					1,0000 (0,0000)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test Ho: Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

**TABLA 64. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN:  
COSTOS OPERATIVOS - EMPRESAS GRANDES - FRONTERAS  
ESTOCÁSTICAS (FE)**

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6
Modelo 1	1,0000 (0,0000)	0,9960 (0,0000)	0,9822 (0,0000)	0,9397 (0,0000)	0,9338 (0,0000)	0,9239 (0,0000)
Modelo 2		1,0000 (0,0000)	0,9901 (0,0000)	0,9437 (0,0000)	0,9377 (0,0000)	0,9219 (0,0000)
Modelo 3			1,0000 (0,0000)	0,9555 (0,0000)	0,9506 (0,0000)	0,9328 (0,0000)
Modelo 4				1,0000 (0,0000)	0,9970 (0,0000)	0,9852 (0,0000)
Modelo 5					1,0000 (0,0000)	0,9881 (0,0000)
Modelo 6						1,0000 (0,0000)

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, es decir, Test Ho: Modelo "X" y el Modelo "Y" son independientes.

De la misma forma, se calcula los diferentes Coeficientes de Correlación de Spearman para el ranking de posiciones que se calculó a través de un análisis de fronteras estocásticas. Se observa que a través de este tipo de análisis, los diferentes Coeficientes presentan mayor estabilidad que los que presenta un análisis envolvente de datos. La mayor variación en este caso ocurre cuando se introduce la variable calidad promedio de agua cruda (aunque es importante indicar que dicho Coeficiente es igual a 0.95).

### 6.3 COMPARACIÓN DE PUNTAJES DE EFICIENCIA ENTRE MUESTRA DE EMPRESAS GRANDES Y PEQUEÑAS CONTRA MUESTRA QUE INCLUYE A TODAS LAS EMPRESAS

Un último ejercicio consiste en comparar los puntajes de eficiencia cuando se los obtiene para cada grupo de empresas (1.- más de 25.000 suscriptores y 2.- entre 2.500 y 25.000 suscriptores) frente a los que obtienen si se considera a todas las empresas en un solo grupo.

### COMPARACIÓN VARIABLES ADMINISTRATIVAS

La Tabla 65 presenta información sobre puntajes de eficiencia que obtienen las empresas para toda la muestra como para cada grupo (dependiendo del número de suscriptores). Se observa que el puntaje promedio cuando se incluye a todas las empresas es menor en 12,87 unidades al comparar contra el grupo de empresas con más de 25.000 suscriptores y menor a 9,31 unidades frente el grupo de empresas que tienen entre 2.500 y 25.000 suscriptores.

De la misma forma, se evidencia que la introducción de unidades de comparación adicionales, genera un incremento en el número de unidades ineficientes. Para el grupo de empresas grandes el porcentaje de unidades ineficientes es igual al 55%, en el caso de las empresas pequeñas es igual a 66,7%; y, finalmente para el caso donde se incluye a todas las empresas el porcentaje es igual al 71,9%.

**TABLA 65. PUNTAJES DE EFICIENCIA CA - GRUPOS DE EMPRESAS FRENTE A TODA LA MUESTRA**

UNIT NAME	SCORE TODAS	SCORE GRANDES	SCORE PEQUEÑAS
A YA DE PEREIRA	61,36	86,18	
AA POPAYAN	71,46	100,00	
ACUACAR	44,67	68,30	
ACUAGYR	66,14	100,00	
ACUAVIVA S.A E.S.P.	68,31	100,00	
AGUAS DE MANIZALES	72,28	100,00	
CONHYDRA-ANTIOQUIA	100,00		100,00
CONHYDRA-CHIGORODO	86,05		86,05
CONHYDRA-MARINILLA	100,00		100,00
CONHYDRA-PUERTO BERRIO	78,22		78,22
CONHYDRA-SONSON	98,78		98,78
EAA BOGOTA	69,03	98,63	
EMCALI	63,06	88,65	
EMCARTAGO	55,59	91,24	
EMP-AGUADAS-ARMA	100,00		100,00
EMP-CHINCHIN-PALESTINA	86,30		86,30
EMPOCALDAS-ANSERMA	90,65		90,65
EMPOCALDAS-LA DORADA	100,00		100,00
EMPOCALDAS-NEIRA	100,00		100,00
EMPOCALDAS-RIOSUCIO	95,09		95,09
EMPOCALDAS-SALAMINA	100,00		100,00
EMPOCALDAS-SUPIA	100,00		100,00
EMPOCALDAS-VITERBO	100,00		100,00
EMPOOBANDO	64,57		64,57
EPM	64,36	91,36	
ING.TOTAL-ANDES	69,51		69,51
ING.TOTAL-BOLIVAR	65,28		65,28
LA CIMARRONA	100,00		100,00
O DE SERVICIOS-FREDONIA	49,50		49,50
O DE SERVICIOS-SANTA BARBARA	63,27		63,27
SERA QA	43,42	67,38	
VIRTUAL BMANGA	70,84	99,33	
<b>Promedio</b>	78,05	90,92	87,36
<b>Promedio Ineficientes</b>	69,47	86,38	77,02
<b>Desviación Estándar</b>	18,63	11,88	16,33
<b>Mínimo</b>	43,42	67,38	49,50

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Es interesante observar que el puntaje de eficiencia de todas las empresas grandes se reduce cuando se calcula el puntaje cuando se incluye a todas las empresas (grandes y pequeñas). Mientras que en el caso de las empresas pequeñas, el puntaje de cada empresa es el mismo.

#### COMPARACIÓN VARIABLES OPERATIVAS

De igual forma se realizó el ejercicio para los costos operativos. De igual forma, se observa que al incrementar el número de unidades,

es decir obtener los puntajes de eficiencia en un solo grupo para todas las empresas tanto grandes como pequeñas, el puntaje de eficiencia se reduce. Las reducciones tanto en el puntaje de todo el grupo como en el puntaje de las unidades ineficientes son de menor proporción al que ocurre en los costos administrativos. En el caso de las empresas grandes, la reducción es de 0,42 puntos, mientras que en el caso de las empresas pequeñas es de 1,05.

**TABLA 66. PUNTAJES DE EFICIENCIA CO - GRUPOS DE EMPRESAS FRENTE A TODA LA MUESTRA**

UNIT NAME	SCORE TODAS	SCORE GRANDES	SCORE PEQUEÑAS
A.A. S.AMALFI	100,00		100,00
A.A. S.SAN PEDRO	100,00		100,00
A.A. S.SANTA ROSA DE OSOS	100,00		100,00
ACUACAR	100,00	100,00	
ACUAGYR	88,79	91,30	
ACUAVIVA	100,00	100,00	
CONHYDRA S.A E.S.P. - ANTIOQUIA	96,02		96,02
CONHYDRA S.A E.S.P. - CHIGORODO	100,00		100,00
CONHYDRA S.A E.S.P. - MARINILLA	100,00		100,00
CONHYDRA S.A E.S.P. - SONSON	74,43		74,43
EAAB	88,58	88,58	
EMCALI	100,00	100,00	
EMCARTAGO	100,00	100,00	
EMPOCALDAS - 1	100,00		100,00
EMPOCALDAS - 2	100,00		100,00
EMPOCALDAS- ANSERMA	85,06		85,06
EMPOCALDAS- LA DORADA	100,00		100,00
EMPOCALDAS- NEIRA	89,95		89,95
EMPOCALDAS- RIOSUCIO	100,00		100,00
EMPOCALDAS- SALAMINA	86,36		86,36
EMPOCALDAS- SUPIA	100,00		100,00
EMPOCALDAS- VITERBO	100,00		100,00
EPM	100,00	100,00	
EPM - BARBOSA	33,22		33,22
EPM - CALDAS	69,24		69,68

UNIT NAME	SCORE TODAS	SCORE GRANDES	SCORE PEQUEÑAS
IBAL	100,00	100,00	
INGENIERIA TOTAL - ANDES	88,51		88,51
INGENIERIA TOTAL - BOLIVAR	100,00		100,00
LA CIMARRONA	100,00		100,00
MANIZALES	62,52	71,21	
OPERADORES - FREDONIA	100,00		100,00
OPERADORES - SANTA BARBARA	100,00		100,00
PEREIRA	72,89	84,48	
SERA Q.A.TUNJA	100,00	100,00	
SERVICIUADAD	58,38	64,63	
<b>Promedio</b>	91,26	91,68	92,31
<b>Promedio Ineficientes</b>	77,51	80,04	77,90
<b>Desviación Estándar</b>	15,23	12,42	15,57
<b>Mínimo</b>	33,22	64,63	33,22

Fuente: Estudios de Costos - Aplicación Resolución 287 de 2004.

Al comparar los puntajes de eficiencia ya a nivel de cada unidad, se observa que en el caso de las empresas grandes, un 33,3% reducen sus puntajes al comparar con la muestra de unidades que incluye a todas. Mientras que en el caso de las empresas pequeñas sólo reducen sus puntajes un 4,34%.

Finalmente indicar, que la desviación estándar en el caso de los costos administrativos aumenta en un 56,72% y en un 14,08%

para el caso de unidades grandes y pequeñas respectivamente cuando se compara contra toda la muestra de unidades. Mientras que en el caso de costos operativos, se produce un aumento del 22,64 para el caso de las unidades grandes pero una reducción del 2,16 de las pequeñas. Por lo tanto, la introducción o el aumento en el número de unidades (una sola muestra para empresas grandes y pequeñas) generan cambios mayores en los puntajes de eficiencia en los costos administrativos.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se desarrolló una metodología que permite identificar con claridad el desempeño de todos los modelos de eficiencia introducidos mediante la Resolución CRA 287 de 2004, así como el efecto que tiene las posibles variaciones sobre los mismos, desde una perspectiva que permite establecer la sensibilidad y la integralidad del modelo.
- En cuanto al desempeño del modelo de costo administrativo (CA), se observan diferencias importantes en el comportamiento de las variables que tienen un efecto proporcional sobre el nivel de costos (INV\_Sc.ACU, INV\_Sc.ALC, INV\_Sc.MICRO, INV\_Sc.EI Y 2) y las que presentan un efecto inverso (Sc.INDyCOM, QyR\_Fact y Densidad). En las últimas, por ejemplo, se detecta que las mejoras potenciales se encuentran por encima del 60%, lo cual indica que se requieren cambios muy importantes en estas variables para lograr que una empresa pueda mejorar su eficiencia a partir de cambios que se limiten específicamente a éstas. Lo anterior es consistente con las estimaciones que buscan establecer la contribución de las variables (ninguna de las variables que tiene un efecto inverso sobre los costos contribuye de manera importante en la determinación de los puntajes de eficiencia) y con las estimaciones de sensibilidad.
- Luego de realizar el análisis de 127 modelos que se construyeron a través de una combinación de las siete variables que considera el modelo de costo administrativo (CA), se identifica que la incorporación de las variables quejas y reclamos, y densidad no generan cambios en los puntajes de eficiencia.
- En cuanto a los modelos de costo operativo (CO), se identifica que tanto las variables que entran de forma inversa (INV\_M3\_PROD, INV\_M3\_VERT, INV\_M3\_BOMB, INV\_TAM\_RED) como la variable que entra de forma directa (IND-CALIDAD) presentan aproximadamente el mismo nivel de variación en las mejoras potenciales para que la unidad promedio sea considerada eficiente.
- En el caso de la contribución promedio de las variables de costo operativo (CO), las variables invertidas m3 vertidos y calidad promedio del agua cruda son las que contribuyen de mayor manera en la determinación de los puntajes de eficiencia. Mientras que las variables invertidas m3 bombeados y número efectivo de plantas son las que presentan el menor aporte tanto en el grupo de empresas medianas como grandes (entre 2.500 y 25.000 suscriptores y mayores a 25.000 suscriptores respectivamente). Ya analizando a nivel de la muestra,

se observa que la variable  $m^3$  bombeados solo aporta en el puntaje de eficiencia en el 16% de las empresas grandes, mientras que en el 30% de las medianas.

- En cuanto a las variaciones que pueden ser introducidas a los modelos de costo administrativo (CA) y costo operativo (CO), se cuenta con una caracterización clara del efecto que tiene la introducción de unidades de comparación adicionales, las cuales conducen a un incremento en el número de unidades identificadas como ineficientes y la reducción del puntaje de eficiencia promedio, al tiempo que mantienen un alto nivel de consistencia, en el sentido que la relación que existe entre las unidades se mantiene, lo cual es confirmado mediante el estadístico de Spearman, y la desviación estándar entre los puntajes establecidos mediante las dos muestras no presenta cambios significativos. Es decir que se incrementa el nivel de exigencia del modelo, sin alterar la consistencia del mismo.
- De igual forma, se pensó en incluir otras variables que no considera en este momento los modelos de Costos Operativos (CO) y Costos Administrativos (CA). Pero debido a que la información reportada no es consistente, no se logró incluir ninguna a pesar de haber realizado algunas pruebas. Para futuras etapas o trabajos, se recomienda tratar de incluir otras variables que son tomadas en la literatura económica.
- La introducción de variables reduce la exigencia del modelo, sin embargo, fue posible verificar que, para el modelo DEA, los resultados de los diferentes escenarios propuestos resultan ser consistentes cuando se analizan utilizando el coeficiente de correlación de Spearman.
- Finalmente, indicar que al realizar la estimación de los puntajes de eficiencia donde se incluye en una sola muestra tanto a empresas grandes como medianas, los puntajes se reducen permitiendo que la estimación sea más exigente para las empresas (se presenta mayor reducción en el caso del modelo de costo administrativo que en el caso del modelo de costo operativo). Al realizar este ejercicio, las empresas grandes son las que sufren una disminución de dichos puntajes, mientras que las medianas mantienen sus puntajes.
- Entre las recomendaciones, se plantea:
  - En el caso del modelo de costo administrativo (CA), reducir el número de variables o input de siete a cinco, suprimiendo los inputs quejas y reclamos, y densidad, debido a que dichas variables no modifican los puntajes de eficiencia y permiten que los modelos sean menos exigentes. La reducción de estas variables no genera cambios en las posiciones relativas en las posiciones de las empresas, lo cual es comprensible si se tienen en cuenta que su aporte a la formación de los puntajes de eficiencia es mínima; su inclusión en el modelo permite la obtención de mayores puntajes de eficiencia, sin que este efecto sea explicado por un mejor desempeño por parte de las empresas prestadoras.
  - Para el modelo de costo operativo (CO), eliminar el input metros cúbicos bombeados debido a que es una de las variables que menor aporte realiza en la determinación de los puntajes de eficiencia y que sólo es importante para un pequeño grupo de empresas. Asimismo, es necesario señalar que los costos asociados a esta variable se consideran dentro de los costos de operación no comparables.
  - Para determinar el puntaje de los prestadores, se corre un modelo para cada uno, en el que se incluye todo el conjunto de **empresas comparables** y

el prestador al que se le busca determinar un puntaje por separado. El puntaje resultante únicamente aplica para este último. Por lo tanto, se podría pensar en ampliar la muestra de **empresas comparables** para que la determinación de los puntajes de las empresas sea más exigente y se pueda lograr una mayor distinción entre empresas efi-

cientes y no eficientes. Esta ampliación del conjunto de empresas comparables debe cumplir con los parámetros mínimos estipulados en la Resolución CRA 287 de 2004 (continuidad: 80%, nivel de micromedición: 70%, eficiencia en el recaudo: 60%, rezago entre usuarios de acueducto y alcantarillado: 50%).

## ANEXO I: COSTO ADMINISTRATIVO (CA)

### A1) EMPRESAS GRANDES (MAYORES DE 25.000 SUSCRIPTORES)

Las estadísticas descriptivas de las variables incluidas en los costos administrativos para las empresas grandes se presentan en la Tabla 1. Como se observa, la muestra está compuesta por doce unidades comparables

(DMU's). El costo administrativo presenta un valor promedio igual a 22.700 millones de pesos, el número de suscriptores es mayor para el servicio de acueducto que para el de alcantarillado (269.489 y 252.260 respectivamente). El número de suscriptores con micromedición es igual a 253.306, el número de suscriptores del estrato 1 y 2 son iguales 97.085, mientras que el número de suscriptores industriales es igual a 16.669. Por otro lado, el promedio de quejas y reclamos asciende a 7.478, mientras que la densidad, expresada como suscriptores por kilómetro de red de distribución, es igual a 143,35.

**TABLA 1. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS GRANDES**

VARIABLE	OBS	MEAN	STD. DEV.	MIN	MAX
ca	12	2.27e+10	3.21e+10	2.15e+09	1.04e+11
susacu	12	269489.4	406966	26644	1353612
susalc	12	252260.6	379070.2	22816	1247629
susmicr	12	253306.5	375542.5	26418	1229921
susly2	12	97085.17	139529.6	8197	438709
susindcom	12	16669.67	23446.82	1742	71126
qyr	12	7478.667	8161.089	571	26581
densidad	12	143.3583	47.20692	82.8	257.8

En la Tabla 2, se observa las diferentes correlaciones entre las variables. Se evidencia que todas las variables presentan una relación positiva y en la mayoría de los casos superior al 95%. La única variable que presenta valores menores o iguales al 70% es la variable densidad. La variable costo administrativo (CA) presenta la mayor relación con la variable suscriptores estratos 1 y 2 (99,8%), mientras que la menor relación es con la variable densidad, igual al 64%.

**TABLA 2. CORRELACIÓN: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS GRANDES**

	CA	SUSACU	SUSALC	SUSMICR	SUSIY2	SUSINDCOM	QYR	DENSIDAD
ca	1.0000							
susacu	0.9958	1.0000						
susalc	0.9962	0.9996	1.0000					
susmicr	0.9975	0.9993	0.9997	1.0000				
susly2	0.9988	0.9929	0.9945	0.9962	1.0000			
susindcom	0.9910	0.9832	0.9873	0.9894	0.9952	1.0000		
qyr	0.9368	0.9396	0.9440	0.9410	0.9360	0.9451	1.0000	
densidad	0.6408	0.6016	0.6177	0.6251	0.6683	0.7085	0.6402	1.0000

**A2) EMPRESAS MEDIANAS (ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES)**

Las estadísticas descriptivas de las diferentes variables en el grupo de empresas medianas muestra que en promedio el costo de administración entre el grupo de veinte unidades comparables o empresas es igual a 409 mil millones de pesos, es decir, representa aproximadamente 1,8% del costo administrativo promedio de las empresas grandes. En promedio, este grupo de empresas presenta 5.945 y 5.002 suscriptores

de acueducto y alcantarillado respectivamente. De los cuales, 2.732 suscriptores pertenecen a los estratos 1 y 2. El 91,3% de los suscriptores de acueducto presentan micromedición para este grupo de empresas. Mientras que en el grupo de empresas grandes, el 94% presenta micromedición. Un dato que llama la atención, es el hecho que la densidad en este grupo sea mayor a la densidad que presenta el grupo de empresas grandes (la densidad en el grupo de empresas medianas es superior en un 98.85 suscriptores por kilómetro de red de distribución).

**TABLA 3. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS MEDIANAS**

VARIABLE	OBS	MEAN	STD. DEV.	MIN	MAX
ca	20	4.09e+08	2.72e+08	1.96e+08	1.24e+09
susacu	20	5945.05	3766.675	2567	16200
susalc	20	5002.2	3615.227	2239	15108
susmicr	20	5429.7	3260.29	2270	13411
susly2	20	2732.8	2480.564	1042	10573
susindcom	20	435.9	240.4476	170	1002
qyr	20	168.4	220.4921	29	831
densidad	20	242.2095	340.0541	67.49	1640.61

La Tabla 4 presenta las diferentes correlaciones entre las variables que se estudian, en todos los casos se presentan correlaciones positivas y elevadas, salvo para la variable densidad que en algunos casos presenta relaciones incluso negativas. Por ejemplo, a medida que aumenta la densidad, se presenta una reducción en el número de suscriptores de estratos 1 y 2, situación contraria a lo que sucede con el grupo de empresas grandes. Otras correlaciones negativas

se presentan entre la variable densidad, quejas y reclamos, y costo de administración. En este último caso, indica que en este grupo de empresas, a medida que aumenta el número de suscriptores por kilómetro de red de distribución los costos de administración van disminuyendo. Este resultado, indica la presencia de economías de escala respecto a costos administrativos en este grupo de empresas, situación que no se presenta en el grupo de empresas grandes.

**TABLA 4. CORRELACIÓN: COSTOS ADMINISTRATIVOS - EMPRESAS MEDIANAS**

	CA	SUSACU	SUSALC	SUSMICR	SUSIY2	SUSINDCOM	QYR	DENSIDAD
ca	1.0000							
susacu	0.9309	1.0000						
susalc	0.8753	0.9574	1.0000					
susmicr	0.9351	0.9898	0.9611	1.0000				
susly2	0.8682	0.9268	0.8951	0.8984	1.0000			
susindcom	0.8619	0.9369	0.8988	0.9210	0.8526	1.0000		
qyr	0.8372	0.8920	0.8327	0.8813	0.8684	0.7432	1.0000	
densidad	-0.0658	0.0759	0.0711	0.0891	-0.1798	0.0490	-0.0364	1.0000

## ANEXO 2: COSTO OPERATIVO (CO)

### BI) EMPRESAS GRANDES (MAYORES DE 25.000 SUSCRIPTORES)

La Tabla 5 presenta información acerca de estadísticas descriptivas para el grupo de empresas grandes para el tema de costos operativos (CO). Se evidencia que en prome-

dio el costo operativo está alrededor de \$29 mil millones de pesos, con un valor máximo de \$194 mil millones y un valor mínimo de \$2.300 millones de pesos. De la misma manera, se observa que en promedio un 79% de los metros cúbicos producidos de acueducto y metros cúbicos vertidos al sistema de alcantarillado son bombeados. Finalmente, indicar que la calidad promedio del agua cruda tiene un valor igual a 3.17, recordando que dicha variable se evalúa en un rango de 1 a 4, siendo 4 el valor que representa la mejor calidad del agua.

**TABLA 5. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS: COSTOS OPERATIVOS - EMPRESAS GRANDES**

VARIABLE	OBS	MEAN	STD. DEV.	MIN	MAX
co	12	2.90e+10	5.44e+10	2.39e+09	1.94e+11
m <sup>3</sup> _prod	12	1.00e+08	1.41e+08	1.03e+07	4.55e+08
m <sup>3</sup> _ver	12	5.64e+07	8.17e+07	5787389	2.50e+08
m <sup>3</sup> _bom	12	1.24e+08	1.91e+08	100	4.98e+08
n_efec_pla	12	2.084167	1.216332	.75	4.13
tam_red	12	2449970	6394602	20620	2.22e+07
cal_agua	12	3.179167	.359405	2.33	3.61

Al analizar las correlaciones entre las diferentes variables, se observa que la variable costo operativo presenta una correlación positiva con todas las variables con excepción de la variable calidad de agua, es decir a mayor calidad de agua la empresa debe recurrir a mayores costos. Al mismo tiempo, dicha variable (CO) presenta el mayor grado de correlación con la variable tamaño de red (a mayor complejidad

y tamaño de la infraestructura a mantener y reparar ocasiona mayores costos). La variable calidad de agua es la única variable que presenta una correlación negativa con el resto de variables, es decir a mayor calidad de agua cruda origina menores costos operativos, m<sup>3</sup> producidos de acueducto, m<sup>3</sup> vertidos, m<sup>3</sup> bombeados, número efectivo de plantas y tamaño de red.

**TABLA 6. CORRELACIÓN: COSTOS OPERATIVOS - EMPRESAS GRANDES**

	CO	M <sup>3</sup> _PROD	M <sup>3</sup> _VER	M <sup>3</sup> _BOM	N_EFEC~A	TAM_RED	CAL_AGUA
co	1.0000						
m <sup>3</sup> _prod	0.9380	1.0000					
m <sup>3</sup> _ver	0.9108	0.9941	1.0000				
m <sup>3</sup> _bom	0.7061	0.7783	0.7483	1.0000			
n_efec_pla	0.6593	0.8361	0.8346	0.7488	1.0000		
tam_red	0.9743	0.8651	0.8228	0.7037	0.5337	1.0000	
cal_agua	-0.7992	-0.7821	-0.7869	-0.4335	-0.5336	-0.7652	1.0000

**B2) EMPRESAS MEDIANAS (ENTRE 2.500 Y 25.000 SUSCRIPTORES)**

Con respecto a las variables de las empresas medianas, se evidencia que el costo operativo (igual a \$408 millones de pesos) sólo representa el 1.4% del promedio de los costos operativos de las empresas grandes. Al mismo

tiempo, se observa que sólo el 19% de los m<sup>3</sup> producidos de acueducto y m<sup>3</sup> vertidos al sistema de alcantarillado son bombeados (en el caso de las empresas grandes representa el 79%). En cambio, en este grupo de empresas, la calidad de agua cruda es superior en 0.17 puntos con respecto al otro grupo de empresas, es decir presentan una mejor calidad de agua cruda.

**TABLA 7. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS: COSTOS OPERATIVOS - EMPRESAS MEDIANAS**

VARIABLE	OBS	MEAN	STD. DEV.	MIN	MAX
co	23	4.08e+08	3.20e+08	1.44e+08	1.28e+09
m <sup>3</sup> _prod	23	1989229	1987852	622343	9507099
m <sup>3</sup> _ver	23	945150.7	905503.4	312781.7	4023312
m <sup>3</sup> _bom	23	559596.7	1252342	100	5033334
n_efec_pla	23	.8765217	.5842836	0	2.97
tam_red	23	3721.235	4211.679	1063.46	20171.17
cal_agua	23	3.34913	.2144531	2.97	3.87

Al analizar la correlación de las diferentes variables, se observa que la variable costo operativo presenta menores correlaciones que las que se registra en el caso de las empresas gran-

des. Por ejemplo, en el caso de las empresas grandes, la correlación entre el CO y los m<sup>3</sup> bombeados es igual a 0,09 mientras que en el caso de las empresas grandes es igual a 0,70.

**TABLA 8. CORRELACIÓN: COSTOS OPERATIVOS - EMPRESAS MEDIANAS**

	CO	M <sup>3</sup> _PROD	M <sup>3</sup> _VER	M <sup>3</sup> _BOM	N_EFEC~A	TAM_RED	CAL_AGUA
co	1.0000						
m <sup>3</sup> _prod	0.8661	1.0000					
m <sup>3</sup> _ver	0.8718	0.9715	1.0000				
m <sup>3</sup> _bom	0.0908	0.0598	-0.0044	1.0000			
n_efec_pla	0.4033	0.4706	0.5003	0.3762	1.0000		
tam_red	0.5976	0.8404	0.8257	-0.0946	0.3320	1.0000	
cal_agua	-0.5131	-0.2940	-0.2507	-0.1331	-0.2870	0.0589	1.0000

# ANÁLISIS DE ECONOMÍAS DE ESCALA Y ALCANCE EN LOS SERVICIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN COLOMBIA<sup>1</sup>

**Daniel Revollo Fernández. Asesor Subdirección Técnica.**  
**Giovanna Londoño. Asesora Experto Comisionado.**

## RESUMEN

Una de las principales características del sector de acueducto y alcantarillado en Colombia es el alto nivel de atomización de la prestación del servicio. Este nivel de atomización es el resultado de los procesos de descentralización de fines de los ochenta y los cambios implementados en la década de los noventa. Este cambio originó modificaciones en el esquema de prestación, pasando de un sistema centralizado a un esquema municipal numeroso y bastante heterogéneo, impidiendo que se generen condiciones suficientes para el aprovechamiento de economías de escala y alcance en desmedro del bienestar de la sociedad.

En tal sentido, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) a través del mecanismo de fusionar y escindir empresas busca tratar de solucionar estos problemas, generar opciones o herramientas para realizar una regionalización de mercado a través de argumentos económicos y técnicos, y apoyar en la revisión de bases del nuevo marco tarifario en búsqueda de mayor eficiencia en el sector a través de dichas economías.

**Palabras Clave: Economías de Escala, Economías de Alcance, Acueducto y Alcantarillado, Función de Costo Translogarítmica.**

*1 Las opiniones del autor se hacen a título personal y no comprometen en nada la posición institucional de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.*

## I. INTRODUCCIÓN

Colombia presenta un alto grado de atomización en la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado, lo cual ha quedado consignado en recientes estudios sectoriales (CRA, 2001; Banco Mundial, 2004; DNP, 2007). Se estima que en Colombia existen más de 12.000 prestadores que en su mayoría son pequeños y rurales (CONPES 3463). En el momento, se tienen registrados 2244 prestadores ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) repartidos en 887 municipios, generando un promedio de 2.5 operadores por municipio.

Este nivel de atomización es el resultado de los procesos de descentralización de fines de los ochenta y los cambios implementados en la década de los noventa (Constitución Política, Ley 142 de 1994). Este cambio originó modificaciones en el esquema de prestación, pasando de un sistema centralizado a un esquema municipal numeroso y bastante heterogéneo. El alto número de entidades prestadoras, la gran dispersión y la atomización del sector han impedido que se generen condiciones suficientes para el aprovechamiento de economías de escala, menores costos de producción asociados a la prestación de estos servicios y la atomización de los recursos aportados por el Estado (DNP, 2007). Es más, se encuentran casos en los cuales hay presencia de varios operadores. Esta atomización también ha implicado mayores esfuerzos y costos desde el punto de vista institucional en las tareas de regulación, supervisión y control.

Teniendo en cuenta lo anterior, el Gobierno Nacional diseñó los Planes Departamentales de

Agua y Saneamiento para el Manejo Empresarial de los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo con el fin de afrontar las limitaciones en los temas de estructura dispersa de la industria y desaprovechamiento de economías de escala, desarticulación de las diferentes fuentes de recursos, planificación y preinversión deficiente, falta de integralidad y de visión regional, limitado acceso a crédito, lentitud en los procesos de modernización empresarial. En tal sentido, el Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP), el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP) recomiendan a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) que acelere el desarrollo de la regulación relacionada con ordenar la liquidación, de prestadores públicos ineficientes y de fusión.

Según los artículos 73.13 y 73.14 de la Ley 142 de 1994, la Comisión tiene la potestad para escindir empresas que utilizan su posición dominante para impedir el desarrollo de la competencia en un mercado o fusionarlas si es indispensable para extender la cobertura y abaratar los costos de los usuarios, logrando que las operaciones sean económicamente eficientes y que produzcan servicios de calidad para el bienestar de la sociedad. En tal sentido, a través de las economías de escala y alcance, se puede generar herramientas para fusionar o pensar en crear mercados regionales de acueducto y alcantarillado. De la misma forma, a través de dichas economías, se investiga avanzar en la búsqueda de mayor eficiencia en el sector.

En el marco de la revisión tarifaria quinquenal (2009-2014), la CRA considera pertinente incluir la revisión de economías de escala y alcance como forma de alcanzar dos objetivos incluidos en las Bases para la Revisión Quinquenal: i) Aprovechar las mejoras en eficiencia, tanto asignativa como productiva, derivadas del aprovechamiento de economías de escala y alcance, y ii) Distribuir las ganancias en eficiencia entre los usuarios y los prestadores del servicio.

La consolidación de la estructura industrial del sector es una clara necesidad para mejorar la eficiencia en la prestación del servicio. En, en tal sentido, nace la tarea de explorar el tema de economías de escala y alcance que proporcione los soportes técnicos necesarios para desarrollar el proceso de fusión y escisión de empresas y de regionalización en general.

Así entonces, el objetivo de este estudio es estimar las economías de escala y de alcance para los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia con la finalidad de tener los soportes económicos y técnicos adecuados.

Este documento se organiza en cuatro secciones. La primera sección incluye una revisión de la literatura relacionada con el análisis de economías de escala en el sector de agua. En la segunda sección se presenta el modelo empírico utilizado para medir las economías de escala y alcance incluyendo las diferentes funciones de costos y las medidas de economías de escala y alcance. La tercera sección incluye una descripción de los datos y el procedimiento utilizado para estimar el modelo. En la cuarta y última sección se presentan los resultados de la implementación del modelo.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

Algunos de los estudios en los que se analiza la existencia de economías de escala y alcance en la industria del agua en países como Estados Unidos, Inglaterra, Italia y Japón, han utilizado métodos paramétricos, los cuales implican la estimación de funciones de costos que permiten aproximarse a las funciones de producción subyacentes y establecer la relación entre productos e insumos. Así mismo, en la estimación de los modelos se utilizan diferentes formas funcionales para especificar la función de costos y la elasticidad. Los resultados de estos estudios dependen del modelo de costos y las características de la muestra de empresas. A continuación, se hace una breve revisión de los aspectos metodológicos y de los resultados de la literatura empírica sobre el análisis de las economías de escala y alcance en el sector de agua.

El uso de funciones de costos para estimar economías de escala y alcance en sectores regulados de agua potable y saneamiento básico tienen como precedente aplicaciones en el sector eléctrico. La primera aplicación de análisis estadístico de costos para medir economías de escala fue desarrollada por Nerlove (1963) que utilizó una función de costos Cobb-Douglas (log-lineal) para estimar economías de escala en el sector eléctrico en Estados Unidos.

Al considerar las características de un sector regulado como el eléctrico, Nerlove argumentó que era posible considerar que (1) la producción y los precios de los insumos son exógenos a la firma, y (2) las firmas buscan minimizar sus costos de acuerdo con niveles

de producción y precios dados. Bajo estos supuestos, se planteó una función de costos que incluye los precios de los insumos y que está relacionada de forma única con la función de producción. De esta forma, Nerlove desarrolló el potencial econométrico de la dualidad entre la función de costos y la función de producción (McFadden, 1978), que asegura que la relación entre la función de costos obtenida de forma empírica y la función de producción subyacente es única. A partir de estas consideraciones metodológicas, Nerlove concluyó que existían economías de escala en el sector eléctrico de Estados Unidos, pero que estas variaban de acuerdo con el nivel de producción.

Más adelante, en 1976, Christensen y Greene (1976) actualizaron el estudio de Nerlove utilizando la función de costos translogarítmica introducida por Christensen, Jorgenson, y Lau (1973) buscando capturar las economías de escala de variables que la función Cobb-Douglas no captura. La función de costos translogarítmica tiene la ventaja de no imponer restricciones a priori sobre las posibilidades de sustitución de los factores de producción. Adicionalmente, permite que las economías de escala varíen de acuerdo con el nivel de producto, lo que hace posible capturar la forma de U de la curva de costos promedio (Christensen y Greene, 1976). Al ser una función flexible, la función translogarítmica permite una aproximación de segundo orden a la función de costos doblemente diferenciable y linealmente homogénea (Christensen y Greene, 1976).

A partir de los dos artículos mencionados, se han desarrollado varias aplicaciones en el sector de agua. Estas aplicaciones se concentran en el servicio de acueducto y varían en el número de productos analizados. En la mayoría de los casos, el análisis se limita a un solo producto, que generalmente se especifica como el volumen de agua suministrada. No obstante lo anterior, en otros estudios se analiza más de un producto, ya sea desagregando producción y distribución o diferenciando entre la venta de agua en bloque y la venta a usuarios residenciales. El análisis de productos de alcantarillado, o de productos de acueducto y alcantarillado en conjunto es muy limitado, sólo se encontraron un par de estudios en el Reino Unido (Saal y Parker, 2000; Stone y Webster, 2004).

Las formas funcionales utilizadas para estimar economías de escala en el sector de agua incluyen, entre otras, la Cobb-Douglas, Translogarítmica y Cuadrática, siendo la translogarítmica la más utilizada. A pesar de las ventajas que ofrece la función translogarítmica en la estimación de economías de escala, ésta presenta limitaciones para la estimación de economías de alcance, dada la imposibilidad de medir el comportamiento de los costos cuando el nivel de producción es cero. En el caso de economías de alcance y análisis de firmas multiproducto, se favorecen las formas funcionales como las cuadráticas y recientemente la compuesta. Hasta el momento, la función compuesta no ha sido aplicada de forma directa en el sector de agua, sino como parte de un análisis sobre empresas de servicios multiproducto (Piacenza y Vannoni, 2004).

En relación con los costos, se utilizan tanto costos totales como costos variables, generalmente de acuerdo con la disponibilidad de información. Es común utilizar una función de costos variables donde se incluye un factor de capital semifijo que se representa a través de una variable de control. Asociada al tipo de costos, está la selección de los precios. En el caso de los costos totales se incluye un

precio de capital, representado generalmente por el costo de capital y/o la depreciación.

Recientemente, se han utilizado variables de control para tener en cuenta las diferentes condiciones operativas y técnicas de las empresas. Estas incluyen variables como número de suscriptores, densidad del área de prestación y variables asociadas a la calidad de producto, entre otras. En el Anexo I se presentan en detalle las consideraciones metodológicas de los estudios de economías de escala y alcance en el sector de agua.

Los estudios no sólo varían en la especificación de la función de costos, sino que también se utilizan diferentes medidas para estimar las economías de escala. Las medidas varían desde el inverso de la elasticidad del costo-producto, hasta fórmulas que incluyen el inverso de la suma de varias elasticidades (Ej., elasticidad del número de suscriptores o conexiones). Cuando los costos son variables, se utiliza un factor de ajuste asociado al factor de capital para estimar las economías de escala de largo plazo. En los estudios más recientes se puede observar una tendencia a utilizar medidas de escala que incluyan más de un componente asociado al tamaño (Ej., longitud de redes, número de suscriptores).

Así mismo, es importante tener en cuenta el tamaño de las empresas de la muestra, pues la evidencia o no de economías de escala puede estar asociada a la estructura del sector objeto de estudio de los diferentes análisis. En el Anexo 2 se presentan los resultados de algunos estudios junto con el tipo de medida y la media del producto de la muestra de las empresas. A partir de los valores de la tabla, se construyó una gráfica (ver Anexo 2) para analizar la relación entre la magnitud de las economías de escala y la media del producto de las muestras. Se puede observar una tendencia donde, como es de esperarse, las economías de escala disminuyen a medida que aumenta el producto.

En relación con la medición de economías de alcance, conceptualmente existe consenso y las diferentes medidas están asociadas a la forma funcional de la función de costos. En general, las economías de alcance se dan cuando los costos de la producción conjunta de dos o más productos son menores a los costos de producción por separado de cada

producto. La mayoría de los estudios que involucran el análisis de economías de alcance se limitan a los componentes de un mismo servicio. Salvo en el caso de un estudio reciente en el Reino Unido (Stone y Webster, 2004) casi no existen ejercicios que analicen las economías de alcance de forma integral para los servicios de acueducto y alcantarillado.

### 3. MODELO EMPÍRICO

La función de costos describe la relación entre los costos de producción, los productos y los precios de los factores. Por lo general, el costo total (CT) de producción está compuesto por dos componentes: el costo fijo (CF) que es independiente del nivel de producción, y el costo variable (CV) que varía con el nivel de

producción. Bajo determinadas condiciones, se puede suponer que las firmas buscan minimizar sus costos de acuerdo con los niveles de producción y precios dados (factores exógenos) dada una restricción tecnológica. El problema de la minimización se plantea de la siguiente forma:

$$c(w, y) = \text{Min}_x w^* x \quad \text{sujeto a } f(x) = y$$

Donde  $y$  representa el nivel de producción y  $f(x)$  la función de producción. Por medio del problema de minimización, se obtienen las demandas condicionadas de los factores  $x_i^* = x_i^*(w, y)$ . Así entonces, y teniendo en cuenta la dualidad entre la función de costos y la función de producción, la función de costos presenta las siguientes características:

1.  $c(w, y)$  es no decreciente en los precios de los factores ( $w$ ): Si  $w' \geq w$ , entonces  $c(w', y) \geq c(w, y)$ .
2.  $c(w, y)$  es homogénea de grado uno en  $w$ :  $c(tw, y) = t c(w, y)$  si  $t \geq 0$ .
3.  $c(w, y)$  es cóncava en  $w$ :  $c(tw, y) + (1-t)c(w', y) \geq t c(w, y) + (1-t)c(w', y)$
4.  $c(w, y)$  es continua en  $w$ , cuando  $w \geq 0$

Adicionalmente, la función de costos cumple con el Lema de Shephard. Por medio de dicho Lema, se puede obtener la función de demanda condicionada de factores:

$$\frac{\partial c(w, y)}{\partial w_i} = x_i(w, y) \quad (2)$$

Es posible que a la empresa le interese alterar las proporciones de los factores (largo plazo) cuando varía el nivel de producto. En tal sentido, la empresa puede presentar economías de escala que se originan cuando los costos no se incrementan en la misma proporción en que se incrementa la producción. De la misma manera, existen economías de alcance cuando una empresa produce una cantidad mayor de dos productos a un menor costo de la que podrían producir dos empresas especializadas.

Con el fin de estimar economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia, se especificaron varias funciones de costo utilizando diferentes formas funcionales. En el caso de las economías de escala, se utilizó una función translogarítmica. Este tipo de función flexible presenta suficientes grados de libertad haciendo posible una aproxima-

ción de segundo orden a una función de costos arbitraria dos veces diferenciable y linealmente homogénea. Adicionalmente, se planteó la función log-lineal o Cobb-Douglas, con el fin de comparar los resultados. La función log-lineal se puede ver como un modelo anidado de la función translogarítmica o en otras palabras, la función translogarítmica se puede ver como una generalización de la función log-lineal.

Las funciones de costos, las restricciones, y las ecuaciones de participación se desarrollaron de acuerdo con la literatura (Christensen y Greene 1976; Kim y Clark, 1988). La selección de las variables de control incluyó un análisis estadístico de las variables disponibles que se consideraron temáticamente relevantes. No fue posible incluir variables como número de suscriptores y longitud de red total dada la alta colinealidad con la variable producto.

El modelo log-lineal (Modelo 1) planteado para estimar las economías de escala es el siguiente:

$$\ln CV = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \sum_i \beta_i \ln P_i + \sum_k \gamma_k \ln Z_k + \sum_t \omega_t t \quad (3)$$

sujeto a la condición sobre los factores de los precios:

$$\sum \beta_i = 1$$

Donde **CV** corresponde a los **costos variables**, **Y** al producto representado por el **volumen anual facturado** en metros cúbicos, **P<sub>i</sub>** a los **precios de los insumos** (P<sub>l</sub> = trabajo, P<sub>e</sub> = energía y P<sub>m</sub> = materiales), **Z<sub>k</sub>** corresponde a las **características del sector acueducto y/o alcantarillado** (k=l, d y m, donde l = longitud de red matriz, d = densidad red menor y m = número de municipios), y **t** corresponde es una variable dicótoma que representa los diferentes **años**. Este modelo aplica tanto para el servicio de acueducto (Modelo IAC), como para el servicio de alcantarillado (Modelo IAL) y también para los dos servicios de forma conjunta (Modelo IACAL).

Así mismo, el modelo translogarítmico (Modelo 2) para estimar economías de escala está definido como:

$$\ln CV = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y + \sum_i \beta_i \ln P_i + \sum_k \gamma_k \ln Z_k + \frac{1}{2} \alpha_{YY} (\ln Y)^2 + \frac{1}{2} \sum_i \sum_i \alpha_{ii} (\ln P_i)(\ln P_i) + \frac{1}{2} \sum_k \sum_k \alpha_{kk} (\ln Z_k)(\ln Z_k) + \sum_i \alpha_{Yi} (1 + \beta_i) (\ln Y)(\ln P_i) + \sum_k \alpha_{Yk} (1 + \gamma_k) (\ln Y)(\ln Z_k) + \sum_t \omega_t t \quad (4)$$

Sujeto a las restricciones de precios y simetría (Christensen et al, 1973) relacionadas con las propiedades de la función de costos descritas (linealmente homogénea, monótonica no decreciente, y cóncava en relación con los precios de los factores):

$$\sum_i \beta_i = 1$$

$$\sum_i \delta_{Yi} = 0$$

$$\sum_j \varepsilon_{ij} = 0$$

$$\sum_i \xi_{ik} = 0$$

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}$$

$$\xi_{ik} = \xi_{ki}$$

$$\mu_{kl} = \mu_{lk}$$

Las funciones de costo se estiman a partir de la ecuación 4 y las ecuaciones de participación de los insumos en los costos. Estas ecuaciones de participación se deducen del Lema de Shephard:

$$S_i = \frac{P_i X_i}{CV} = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln P_i}$$

Donde la participación de los costos de un factor se expresa como la derivada del costo con respecto a ese factor. Para el Modelo 2, la ecuación de participación de costos se expresa como:

$$S_i = \beta_i + \sum_j \varepsilon_{ij} \ln P_j + \delta_{Yi} \ln Y + \sum_k \xi_{ik} \ln Z_k \quad (5)$$

El Modelo 2 se aplica para el servicio de acueducto (Modelo 2AC) y para alcantarillado (Modelo 2AL) por separado, y para ambos servicios de manera conjunta (Modelo 2ACAL).

En el caso de las economías de alcance, se utilizó una función de costos cuadrática, debido a que mediante la función de costos translogarítmica no es posible medir el comportamiento de los costos cuando algún nivel de producciones nulo. El modelo cuadrático (Modelo 3) planteado es el siguiente:

$$CV_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^2 \beta_j Y_{it,j} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \gamma_j Y_{it,j}^2 - \phi Y_{it,1} Y_{it,2} + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \eta_{jk} Y_{it,j} P_k + \sum_j \gamma_j \ln Z_j - \sum \alpha_{it} \quad (6)$$

Donde las ecuaciones de participación se definen como:

$$S_i = \sum_{Y=1}^2 \eta_{Yi} \ln Y_{it,Y} \quad (7)$$

Dado que el modelo cuadrático se utiliza para estimar las economías de alcance exclusivamente, este modelo sólo se aplica para los servicios de acueducto y alcantarillado de forma conjunta.

### 3.1. ECONOMÍAS DE ESCALA

En general, las economías de escala describen el comportamiento de los costos de acuerdo con una variación en los productos y otras variables relacionadas con el tamaño (Ej., número de suscriptores, longitud de red). A partir de las funciones de costos variables definidas en la sección anterior, es posible estimar diferentes medidas de economías de escala utilizando la elasticidad del costo variable en relación con el producto o productos y con el componente semifijo de capital.

Las medidas que se utilizaron en este estudio son las medidas de producción y las medidas de escala desarrolladas por Caves et al (1981 y 1984) y Antonioli & Filippini (2002).

#### 3.1.1. ECONOMÍAS DE ESCALA DE CORTO PLAZO O MEDIDAS DE PRODUCCIÓN

Para una función con un solo producto, las economías de escala de corto plazo se miden utilizando el inverso de la elasticidad del producto. Existen economías de escala si al aumentar la producción disminuyen los costos variables promedio, cuando las otras variables de la función de costos permanecen constantes. Las economías de escala de corto plazo se pueden expresar como:

$$ES_C = \left( \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln Y_i} \right)^{-1} \quad (8)$$

Existen economías de producción o de corto plazo si  $ES_C$  es mayor que uno (1), economías de producción constantes si  $ES_C$  es igual a uno, y deseconomías de producción si  $ES_C$  es menor que uno. En el caso de funciones de costos multiproducto, las economías de producción globales se pueden medir como la suma de las economías de producción de cada producto ( $ES_{GC}$ ):

$$ES_{GC} = \frac{1}{\sum_i \left( \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln Y_i} \right)} \quad (9)$$

#### 3.1.2. ECONOMÍAS DE ESCALA DE LARGO PLAZO

Para una función de costos variables de un solo producto, las economías de escala de largo plazo se miden como uno menos la elasticidad del factor de capital dividido entre la elasticidad del producto. En varias aplicaciones este factor de capital se representa utilizando la longitud de red, sin embargo, en este caso dada la alta colinealidad entre el producto y la longitud de red total, se utilizó la longitud de red matriz. Las economías de escala se pueden expresar como:

$$ES_L = \frac{1 - \left( \frac{\partial VC}{\partial Z_i} \right)}{\left( \frac{\partial VC}{\partial Y_i} \right)} \quad (10)$$

Existen economías de escala de largo plazo si al tener un incremento en la producción el costo variable se incrementa en una proporción menor, cuando la capacidad de producción no es constante. Las medidas de economías de escala de corto y largo plazo se estiman para la media de las variables de la muestra.

Adicionalmente, se estimaron las economías de escala de largo plazo teniendo en cuenta el número de municipios mediante la siguiente expresión:

Esta medida es útil, ya que la iniciativa de regionalización incluye la agregación de varios municipios bajo un mismo prestador. Así entonces, se puede tener una idea del impacto del número de municipios sobre las economías de escala en el largo plazo, que a través de éstos se puede identificar el tamaño óptimo de ellos.

### 3.2. ECONOMÍAS DE ALCANCE

Las economías de alcance se dan cuando los costos de la producción conjunta de dos o más productos son menores a los costos de producción por separado de cada producto. De acuerdo con Pulley y Humphrey (1991), las economías de alcance se derivan de:

- (1) la reducción de costos fijos, y  
 (2) la complementariedad de los costos dada la producción conjunta.

$$EA = \frac{\alpha_0 - \delta_{ij} Y_i Y_j}{VC(Y_i, Y_j; \mathbf{P}; \mathbf{Z})} \quad (12)$$

Como se mencionó en la sección anterior, para estimar economías de alcance para los servicios de acueducto y alcantarillado se utilizó una función de costos cuadrática. A partir de la especificación cuadrática, es posible estimar las economías de alcance de acuerdo con la fórmula propuesta por Pulley y Humphrey (1991):

Donde, el intercepto de la función cuadrática representa el ahorro en los costos fijos que se distribuyen entre los dos productos, y  $\delta_{ij}$  representa la complementariedad entre los costos de ambos productos. Existen economías de escala si  $\delta_{ij}$  es negativo, y por consiguiente si EA es positivo.

## 4. DATOS Y PROCEDIMIENTO

La información utilizada en este análisis fue tomada del Sistema Único de Información (SUI) de acuerdo con la disponibilidad de datos. Para el análisis de economías de escala de acueducto se obtuvo información completa para 77 empresas representadas en una muestra desbalanceada para el periodo 2003 - 2005 de 170 observaciones. Para el análisis de economías de escala de alcantarillado se contó con información completa para 49 empresas representadas en 100 observaciones para el periodo 2003 - 2005. Finalmente, para el análisis de economías escala y alcance de acueducto y alcantarillado se utilizaron las empresas que prestan uno o ambos servicios y tienen información completa según el caso. Para lo anterior, fue necesario distinguir entre las empresas que prestan un sólo servicio efectivamente y las empresas que tienen información disponible sólo para un servicio, estas úl-

timas fueron descartadas. En el caso del modelo translogarítmico de acueducto y alcantarillado, se reemplazó el valor del producto cero (0) por 0.0001 para las empresas que prestan un sólo servicio.

Las estadísticas descriptivas de las variables incluidas en el modelo se presentan en las Tablas 4-1 y 4-2 para la muestra de acueducto y alcantarillado, respectivamente. Para los costos variables se utilizaron las cuentas de los estados financieros reportados por las empresas al SUI. Las cuentas que se incluyeron en los costos variables están relacionadas con los costos de energía, personal, insumos y otros materiales. Un listado detallado de las cuentas utilizadas se incluye en el Anexo 3. Para los productos de acueducto y alcantarillado se utilizaron los metros cúbicos facturados y los metros cúbicos vertidos facturados respectivamente.

**TABLA 4-1. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS – ACUEDUCTO**

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MIN	MAX
Costo Variable (\$)	13.200.000	33.400.000	167.000	231.000.000
Volumen Facturado (1000 m <sup>3</sup> )	18.900	44.700	249	270.000
Precio Materiales y Otros (\$)	4.827	4.129	110	24.900
Precio Energía (\$)	0,28	0,31	0,11	4,05
Precio Trabajo (\$)	9.980	7.472	1.608	56.500
Longitud Red Matriz (km)	146,18	325,13	2,00	2.362,00
Número de Municipios	2,85	5,24	1,00	35,00
Densidad Red Menor (Sus./km)	241,29	363,06	54,98	4.457,33

Fuente: SUI, Cálculos CRA.

**TABLA 4-2. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS – ALCANTARILLADO**

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MIN	MAX
Costo Variable (\$)	6.440.000	16.600.000	65.800	91.500.000
Volumen Facturado (1000 m <sup>3</sup> )	19.300	47.200	24	252.000
Precio Materiales y Otros (\$)	2.480	1.896	28	10.300
Precio Energía (\$)	2,99	27,52	0,11	275,39
Precio Trabajo (\$)	10.400	9.800	867	59.400
Longitud Red Matriz (km)	144,75	517,07	1,00	3.522,00
Número de Municipios	2,93	4,65	1,00	33,00
Densidad Red Menor (Sus./km)	205,20	127,92	30,74	899,96

Fuente: SUI, Cálculos CRA.

Los precios de energía se tomaron de los precios por kilovatio/hora reportados al SUI por las empresas directamente. Dado que las empresas sólo han reportado precios para los procesos de acueducto, y considerando que una misma empresa debe obtener precios similares independientes de su uso final, se utilizaron los precios reportados de acueducto para el caso de alcantarillado.

Los precios de personal se calcularon dividiendo los costos de personal por el número de empleados. Los precios de materiales y otros, se calcularon dividiendo la suma de los costos variables no pertenecientes a energía o personal por la longitud de red total.

En varios de los estudios donde se utiliza costo variable, el factor de capital se representa mediante el tamaño físico de alguno de los activos, generalmente la longitud de red. En este caso, se utilizó la longitud de red matriz o primaria dado que no fue posible utilizar la longitud de red total debido a la alta colinealidad con los productos, tanto de acueducto como

de alcantarillado. En relación con las variables operativas de control, se utilizó el número de municipios de prestación y la densidad de la red menor. La densidad de la red menor se utilizó como una aproximación a la densidad del área de prestación, y se estimó dividiendo el número de suscriptores por la longitud de red menor.

Las funciones de costos translogarítmicas y cuadráticas se estimaron conjuntamente con las ecuaciones de participación (como la que se presenta en la fórmula cinco), formando un sistema de ecuaciones sujeto a las restricciones impuestas y descritas en la sección anterior. Para hacer operativo el sistema, se eliminó una de las ecuaciones de participación. Las variables de la función de costos se normalizaron utilizando la media. Finalmente, el sistema de ecuaciones se resolvió utilizando el método de Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles Iterativo de Zellner (1962). Los resultados de resolver los sistemas de ecuaciones para cada uno de los modelos se presentan en la siguiente sección.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. ECONOMÍAS DE ESCALA

Los parámetros de los diferentes modelos utilizados para la estimación de economías de escala se presentan en las Tablas 5-1 y 5-2 a continuación.

**TABLA 5-1 RESULTADOS MODELO LOG-LINEAL Y TRANSLOGARÍTMICO ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO**

COEFICIENTE	MODELO 2 AC	ERROR EST.	MODELO 1 AC	ERROR EST.	MODELO 2 AL	ERROR EST.	MODELO 1 AC	ERROR EST.
q	0.601	(0.04)	0,654	(0,035)	0.553	(0,094)	0,450	(0,046)
pl	0.595	(0.01)	0,466	(0,045)	0.718	(0,033)	0,464	(0,053)
pe	0.092	(0.01)	0,164	(0,045)	-0.011	(0,033)	0,217	(0,057)
l	0.245	(0.05)	0,189	(0,036)	0.164	(0,094)	0,287	(0,052)
d	-0.335	(0.10)	-0,024	(0,049)	0.211	(0,212)	-0,355	(0,111)
m	0.096	(0.05)	0,078	(0,038)	0.199	(0,099)	0,184	(0,062)
q2	0.087	(0.03)			0.201	(0,04)		
pl2	0.096	(0.01)			0.096	(0,013)		
pe2	-0.050	(0.01)			-0.025	(0,011)		
l2	0.081	(0.05)			0.102	(0,057)		
d2	-0.061	(0.06)			-0.075	(0,185)		
m2	-0.214	(0.08)			0.016	(0,103)		
pl*pe	0.040	(0.01)			0.025	(0,01)		
l*d	0.073	(0.04)			0.208	(0,133)		
L*m	0.063	(0.05)			0.039	(0,061)		
D*m	-0.009	(0.08)			0.179	(0,153)		
q*pl	0.029	(0.01)			0.008	(0,012)		
Q*pe	-0.030	(0.01)			-0.015	(0,01)		
q*l	-0.063	(0.03)			-0.128	(0,037)		
q*d	-0.163	(0.05)			-0.124	(0,101)		
Q*m	-0.053	(0.04)			-0.035	(0,069)		
pl*l	-0.049	(0.01)			-0.026	(0,014)		
pl*d	0.030	(0.02)			0.061	(0,029)		
pl*m	0.016	(0.01)			0.025	(0,017)		
pe*l	0.011	(0.01)			0.003	(0,011)		
pe*d	0.023	(0.02)			0,011	(0,023)		
pe*m	0.006	(0.01)			-0,010	(0,013)		
t1	-0.005	(0.05)	0,020	(0,064)	0.034	(0,082)	0,161	(0,125)
t2	0.011	(0.05)	0,008	(0,065)	-0,088	(0,08)	0,101	(0,123)
_cons	-0.252	(0.06)	-2,801	(0,492)	-0,080	(0,12)	1,886	(0,861)

Fuente: Cálculos CRA.

La Tabla 5-1 presenta los diferentes coeficientes y los errores estándar (entre paréntesis) de las distintas variables que se utilizaron en el modelo y del tipo de modelo que se utilizó, log-lineal o translogarítmico tanto para el sector de acueducto como de alcantarillado. Para la estimación de estas curvas de costos, se utilizó el volumen facturado de acueducto ( $q_{ac}$ ), el volumen facturado de alcantarillado ( $q_{al}$ ), el precio de la mano de obra ( $pl$ ), precio de energía ( $pe$ ), precio de materiales y otros ( $pm$ ), la densidad ( $d$ ), longitud red matriz ( $l$ ) y número de municipios donde presta el servicio ( $m$ ). De la misma forma, se estimaron las diferentes interacciones entre las variables y valores al cuadrado.

Los resultados del modelo log-lineal son más fáciles de comprender ya que por su estructura no presentan interacciones entre las variables. En el caso del modelo log-lineal para el servicio de acueducto, un aumento del 10% en la

producción de volumen facturado, aumenta en un 6,5% el costo de producción, cuando las otras variables permanecen constantes. De la misma manera, se observa que un aumento del 10% en la longitud de la red matriz, aumenta en 1,89% el costo. Por otro lado, un aumento del 10% en la densidad disminuye el costo en 2,4%.

De la misma forma, la Tabla 5-2 presenta los resultados de la regresión del modelo log-lineal y translogarítmico para el sector de acueducto y alcantarillado. El mismo modelo presenta las elasticidades para cambios en longitud de redes matriz, densidad y número de municipios donde una empresa presta sus servicios. Un aumento del 10% en los kilómetros de la longitud de red matriz, aumenta el costo en un 2,01% y un aumento del 10% en la densidad reduce el costo en un 1.66%.

**TABLA 5-2 RESULTADOS DE LOS MODELOS 1 Y 2 DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN CONJUNTO**

COEFICIENTE	MODELO 2 ACAL	ERROR EST.	MODELO 1 ACAL	ER. EST.
qac	0,456	(0,195)	0,456	(0,094)
qal	0,166	(0,185)	0,134	(0,078)
pl	0,650	(0,02)	0,527	(0,047)
pe	0,039	(0,023)	0,119	(0,041)
l	0,146	(0,085)	0,201	(0,058)
m	0,182	(0,067)	0,128	(0,043)
d	-0,097	(0,168)	-0,166	(0,073)
qac <sup>2</sup>	0,058	(0,352)		
pl <sup>2</sup>	0,139	(0,011)		
pe <sup>2</sup>	-0,021	(0,01)		
qal <sup>2</sup>	0,089	(0,193)		
l <sup>2</sup>	0,005	(0,119)		
m <sup>2</sup>	-0,163	(0,09)		
d <sup>2</sup>	-0,308	(0,124)		
pl*pe	0,012	(0,008)		
qal*l	-0,191	(0,198)		
qal*m	0,010	(0,156)		

COEFICIENTE	MODELO 2 ACAL	ERROR EST.	MODELO 1 ACAL	ER. EST.
l*m	0,029	(0,071)		
qal*d	0,357	(0,199)		
l*d	0,187	(0,134)		
m*d	0,222	(0,138)		
qac*pl	0,045	(0,02)		
qac*pe	-0,015	(0,025)		
qac*qal	-0,001	(0,247)		
qac*l	0,145	(0,238)		
qac*m	-0,069	(0,14)		
qac*d	-0,576	(0,22)		
pl*qal	-0,012	(0,019)		
pl*l	-0,077	(0,014)		
pl*m	0,019	(0,011)		
pl*d	0,127	(0,01)		
pe*qal	-0,01	(0,02)		
pe*l	0,017	(0,015)		
pe*m	0,012	(0,011)		
pe*d	-0,029	(0,018)		
t1	0,033	(0,053)	0,014	(0,079)
t2	-0,023	(0,053)	-0,003	(0,078)
const.	-0,101	(0,078)	-1,227	(0,664)

Fuente: Cálculos CRA.

A partir de los parámetros de los modelos que se presentan en las Tablas 5-1 y 5-2, se estimaron las economías de escala de corto y de largo plazo para la media de los datos, los resultados se presentan en la Tabla 5-3.

**TABLA 5-3 ECONOMÍAS DE ESCALA DE CORTO Y LARGO PLAZO, SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO POR SEPARADO**

	ACUEDUCTO		ALCANTARILLADO	
	LOG - LINEAL	TRANSLOGARÍTMICO	LOG - LINEAL	TRANSLOGARÍTMICO
Corto Plazo	1.53	1.69	2.22	1.82
Largo Plazo	1.24	1.31	1.59	1.61
Largo plazo (municipios)	1.10	0.95	1.12	1.23

Fuente: Cálculos CRA.

Como se observa en la Tabla 5-3, el servicio de acueducto presenta economías de escala tanto de corto como de largo plazo. El único caso donde no se presentan economías de escala es para la medida de largo plazo que incluye el número de municipios. Para el caso del servicio de alcantarillado, tanto a corto como a largo plazo existe evidencia de economías de

escala (mayores que 1). Como se puede ver, los resultados de los modelos log-lineal y translogarítmico son muy similares y consistentes.

Adicionalmente, se encontraron economías de escala globales (Tabla 5-4) de acuerdo con la función multiproducto del modelo translogarítmico para acueducto y alcantarillado.

**TABLA 5-4. ECONOMÍAS DE ESCALA DE CORTO Y LARGO PLAZO, SERVICIO ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN CONJUNTO (MULTIPRODUCTO)**

	ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO (MULTIPRODUCTO)	
	LOG - LINEAL	TRANSLOGARÍTMICO
Corto Plazo	1.69	2.01
Largo Plazo	1.35	1.39
Largo Plazo (municipios)	1.11	0.92

Fuente: Cálculos CRA.

De igual forma, se estimaron las economías de escala tomando en cuenta el tamaño de las empresas. Las empresas se clasificaron en tres grupos: pequeñas (menores o iguales a 10.000 suscriptores), medianas (entre 10.001 y 99.999 suscriptores) y grandes (mayores o iguales a 100.000 suscriptores). Las empresas se clasificaron dependiendo del tamaño de la ciudad donde prestan sus servicios y de la cantidad de usuarios que atiende, de la misma forma se trató de balancear la cantidad de información para cada grupo. Lo importante en este punto es determinar el tamaño óptimo de la empresa tipo del mercado que puede aprovechar economías de escala, tamaño que es estimado más adelante. En tal sentido, los tamaños determinados anteriormente pueden variar.

tidad de usuarios que atiende, de la misma forma se trató de balancear la cantidad de información para cada grupo. Lo importante en este punto es determinar el tamaño óptimo de la empresa tipo del mercado que puede aprovechar economías de escala, tamaño que es estimado más adelante. En tal sentido, los tamaños determinados anteriormente pueden variar.

**TABLA 5-5. ECONOMÍAS DE ESCALA DE CORTO Y LARGO PLAZO SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DE LAS EMPRESAS**

	ACUEDUCTO			ALCANTARILLADO		
	PEQ.	MED.	GR.	PEQ.	MED.	GR.
Corto Plazo	2.16	1.58	1.19	6.67	1.68	0.84
Largo Plazo	1.70	1.28	0.96	5.16	1.53	0.82
Largo Plazo (mun)	1.04	0.93	0.87	2.42	1.21	0.68

Fuente: Cálculos CRA.

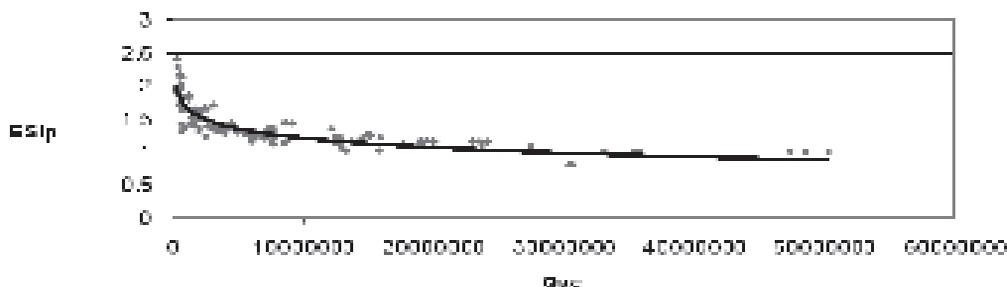
**Como se puede ver la Tabla 5-5 existen economías de escala de corto y largo plazo tanto en acueducto como en alcantarillado para las empresas clasificadas como pequeñas y medianas.** En tal sentido, en estos grupos de

empresas a medida que la producción crece, sus costos por unidad producida se reducen. **En el caso de las empresas grandes, en general, se presentan deseconomías de escala a corto y largo plazo.**

Al mismo tiempo, en el Gráfico 5-1 se observa la relación entre las economías de escala de largo plazo y el producto para el servicio de acueducto. Como se puede ver en el gráfico, las economías de escala disminuyen a medida que aumenta el producto. Así entonces, el nivel de producto en donde las economías de escala son constantes (iguales o cercanas a 1) correspondería al tamaño óptimo de las empresas dentro del intervalo de la muestra analizada. De acuerdo

con el gráfico, este tamaño está alrededor de 28 millones de metros cúbicos que equivale a aproximadamente 149.572 suscriptores, asumiendo un consumo promedio de 187,2 metros cúbicos anuales por suscriptor (promedio de consumo de los años 2004 - 2005). Por ejemplo, una empresa como Aguas de Cartagena, en el año 2005, tenía una facturación anual de 35.840.786 metros cúbicos y un número de suscriptores promedio de acueducto de 148.127.

**GRÁFICO 5-1 ECONOMÍAS DE ESCALA DE LARGO PLAZO VS. METROS CÚBICOS FACTURADOS**

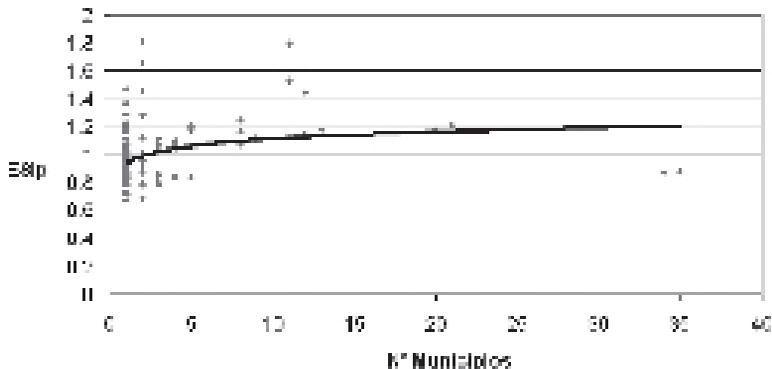


Fuente: Cálculos CRA.

Por otro lado, es de interés conocer la relación entre las economías de escala y el número de municipios. Como se puede observar en el Gráfico 5-2, las economías de escala aumentan a medida que aumenta el número de municipios, para dos municipios las economías de escala son

constantes (iguales a uno). A partir de dos municipios, las economías de escala aumentan, presentando rendimientos marginales decrecientes. Es decir, a medida que aumenta el número de municipios las economías de escala van en aumento pero cada vez en menor medida.

**GRÁFICO 5-2. ECONOMÍAS DE ESCALA DE LARGO PLAZO VS. NÚMERO DE MUNICIPIOS**



Fuente: Cálculos CRA.

## 5.2. ECONOMÍAS DE ALCANCE

Los resultados del modelo cuadrático (Modelo 3) utilizado para estimar economías de alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado se presentan en la siguiente tabla.

**TABLA 5-6. RESULTADOS MODELO CUADRÁTICO**

	CUADRÁTICO ACAL	ER. EST.	INT. INF.	INT. SUP.
lqac	0,153	(0,172)	-0.184	0.490
lqal	0,535	(0,148)	0.245	0.824
lqac2	0,161	(0,117)	-0.069	0.391
lqal2	0,211	(0,182)	-0.145	0.568
lqacqal	-0,215	(0,156)	-0.522	0.091
lqacpl	-0,004	(0,023)	-0.049	0.042
lqacpe	0,004	(0,013)	-0.021	0.029
lqalpl	-0,000	(0,021)	-0.041	0.041
lqalpe	-0,006	(0,012)	-0.029	0.017
lrlm	0,087	(0,044)	0.000	0.173
ldi	-0,041	(0,041)	-0.122	0.039
lntow	0,006	(0,026)	-0.044	0.056
t1	0,061	(0,076)	-0.088	0.210
t2	0,030	(0,074)	-0.116	0.176
cons	0,162	(0,075)	0.014	0.310

Fuente: Cálculos CRA.

De acuerdo con los parámetros del modelo cuadrático y de la Fórmula 12, se encontraron economías de alcance para el servicio de acueducto y alcantarillado. La interacción entre los dos productos es negativa (-0.215), por lo tanto, un aumento en la producción de uno de los productos, disminuye el costo variable total de producción de ambos productos. Este es un resultado importante en la medida en que

se demuestra que es más beneficioso para la sociedad que una sola empresa preste los dos servicios aprovechando dichas economías y un argumento para buscar la fusión de empresas que presten los servicios por separado.

Las economías de alcance estimadas se presentan en la Tabla 5-7 a continuación.

**TABLA 5-7. ECONOMÍAS DE ALCANCE**

ECONOMÍAS DE ALCANCE	INTERVALO ECONOMÍAS DE ALCANCE	
0.38	0.22	0.54

Fuente: Cálculos CRA

El valor de las economías de alcance es positivo, sin embargo, dado que el error estándar es alto, se utilizó el límite inferior y superior del intervalo de confianza al 95% del parámetro de interacción entre los productos. En tal sentido,

y como se puede ver en la tabla, **las economías de alcance son positivas** para los valores de los límites del intervalo de confianza del parámetro de interacción, corroborando la existencia de economías de alcance.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados del análisis econométrico de implementar las funciones de costo variable con una forma funcional translogarítmica para los servicios de acueducto y alcantarillado proporciona evidencia de la presencia de economías de escala para los servicios de acueducto y alcantarillado. De esta forma, las economías de escala estimadas son mayores para empresas pequeñas y se agotan en el caso de empresas grandes.

De igual forma, los análisis evidenciaron la presencia de economías de alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado. En tal sentido, la producción de manera conjunta de acueducto y alcantarillado es menos costosa que la producción por separado, siendo económicamente más ventajosa la prestación simultánea de los dos servicios.

Así mismo, se evidencia el potencial en términos de aprovechar economías de escala en el caso de que las empresas presten sus servicios en más de un municipio. A partir de dos municipios, las economías de escala empiezan a incrementarse con rendimientos marginales decrecientes. Así entonces, hay evidencia de que puede ser favorable aglomerar mercados de servicios públicos de agua potable y saneamiento básico mediante las iniciativas de regionalización para aprovechar dichas economías.

Pese a que no fue posible incluir la variable suscriptores directamente, ésta se incluyó mediante la variable densidad. El coeficiente resultante de la variable densidad en general es negativo (tanto en el modelo

donde se considera acueducto y alcantarillado por separado como conjunto), lo que sugiere, como es de esperarse, la existencia de una relación negativa entre los costos variables y la densidad de los suscriptores.

Los resultados que se obtuvieron se compararon (1) en general con los resultados de otros estudios similares en países como Estados Unidos, Italia y Japón, y (2) en particular con el estudio del Banco Mundial sobre Colombia y otros países en desarrollo (Nauges y Berg, 2007). En el primer caso se encontró que los resultados son coherentes con los lineamientos teóricos en general y los órdenes de magnitud de los parámetros de los modelos. Por otra parte, los resultados del estudio del Banco Mundial, que estima las economías de escala en el servicio de acueducto en Colombia, son consistentes con los resultados del presente análisis.

La evidencia de la presencia de economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado proporciona el soporte técnico para que la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico ejerza su facultad de escindir o fusionar empresas. Este sustento económico es un respaldo para los artículos 73.13 y 73.14 de la Ley de los Servicios Públicos Domiciliarios donde se especifica claramente que dicho proceso debe ir acompañado de estudios que demuestren que ello es indispensable para extender la cobertura y abaratar los costos.

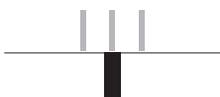
Los resultados de este estudio constituyen un primer ejercicio para el análisis cuantitativo

de economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado. Sin embargo, es posible profundizar sobre varios de los aspectos relacionados con un ejercicio de este tipo. Por ejemplo, sería importante profundizar sobre las características de las empresas que prestan el servicio en más de un municipio, las variables de producto para incluir productos como pérdidas de agua y agua en bloque, y variables relacionadas con los excedentes de capacidad, la calidad del producto y la naturaleza jurídica de las empresas. Adicionalmente, sería interesante, cuando la información esté disponible, realizar análisis multiproducto desagregando los servicios en varios de sus componentes.

Para complementar este análisis, es importante determinar qué incentivos se pueden generar desde la regulación para aprovechar las economías de escala del sector. También es importante, identificar las condiciones socio-económicas en donde se han dado ca-

sos de aglomeración. Así mismo, este análisis se debe contemplar en el contexto de otros análisis como el Análisis de Aglomeración de la Industria de Acueducto y Alcantarillado en Colombia desarrollado por el Departamento Nacional de Planeación (2005) donde la consolidación se estudia a partir de un análisis geográfico. Adicionalmente, sería útil integrar el análisis al ejercicio DEA, para comparar los resultados frente a un modelo no paramétrico.

Finalmente, es importante aclarar que la evidencia de economías de escala es sólo uno de los factores a considerar cuando se busque alterar la estructura del sector mediante acciones como la escisión o fusión de empresas de servicios de acueducto y alcantarillado. Cualquier acción en este respecto debe tener en cuenta las condiciones particulares de cada caso y sus consecuencias tanto en el contexto local como regional.



## 7. REFERENCIAS

- Antonioli B., Filippini M., 2001. The use of a variable cost function in the regulation of the Italian water industry. *Quaderno N. 02-01*.
- Ashton J., 2003. Economies of scale, economies of capital utilization and capital utilization in the English and Welsh water industry, *Service Industries Journal*, 23(5), 137–149.
- Banco Mundial, 2004. Colombia: Desarrollo Económico Reciente en Infraestructura. Balanceando las necesidades sociales y productivas de infraestructura. Informes de Base. Sector de Agua Potable.
- Bhattacharyya A, Parker E, Raffiee K, 1994. An examination of the effect of ownership on the relative efficiency of public and private water utilities. *Land Economics* 70, 197–209.
- Caves DW, Christensen LR, Tretheway MW (1984) Economies of density versus economies of scale: Why trunk and local service airline costs differ. *Rand Journal of Economics* 15:471–489
- Caves, W.C., Christensen, L.R., Swanson, J.A., 1981. Productivity growth, scale economies, and capacity utilization in U.S. railroads, 1955–74. *American Economic Review* 71, 994–1002.
- Christensen LR, Greene WH, 1976. Economies of scale in U.S. electric power generation. *Journal of Political Economy* 84, 655–676.
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2001. El Estado del Arte de la Regulación en el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico en Colombia. Bogotá.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia
- Departamento Nacional de Planeación, 2005. Análisis de Aglomeración de la Industria de Acueducto y Alcantarillado en Colombia. Subdirección de Agua y Ambiente, Dirección de Desarrollo Urbano y Política Ambiental.
- Departamento Nacional de Planeación, 2007. Planes Departamentales de Agua y Saneamiento para el Manejo Empresarial de Los Servicios De Acueducto, Alcantarillado Y Aseo. Documento CONPES No. 3463.
- Garcia, S., Thomas A., 2001. The structure of municipal water supply costs: Application to a panel of French local communities. *Journal of Productivity Analysis*, 16, 5 – 29.
- Greene WH, 1993. Análisis Econométrico, 3rd Ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Hayes K., 1987. Cost structure of the water utility industry. *Applied Economics*, 19, 417–425.
- Kim HY, Clark RM, 1988. Economies of scale and scope in water supply. *Regional Science and Urban Economics* 18, 479–502.
- McFadden D., 1978. Cost, Revenue, and Profit Functions. *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications Volume I: The Theory of Production*.
- Mizutani F, Urakami T, 2001. Identifying network density and scale economies for Japanese water supply organizations. *Papers in Regional Science* 80, 211–230.
- Nauges C, van den Berg C., 2007. How “natural” are natural monopolies in the water supply and sewerage sector? Case studies from developing and transition economies. WPS4137.

- Nerlove, 1963. Returns to Scale in Electricity Supply. In *Measurement in Economics-Studies in Mathematical Economics and Econometrics in Memory of Yehuda Grunfeld*, edited by Carl F. Christ. Stanford, Calif.: Stanford Univ. Press.
- Piacenza M., Vannoni D., 2004. Choosing among alternative cost function specifications: An application to Italian multi-utilities. *Economics Letters*, vol 82, 415.
- Pulley L., Humphrey D., 1991. *Scope Economies: Fixed Costs, Complementarity, and Functional Form*. Working Paper 91-3.
- Renzetti S., 1999. Municipal Water Supply and Sewage Treatment: Costs, Prices, and Distortions. *The Canadian Journal of Economics*, Vol 32, No 3, 688-704.
- Saal D.S., Parker D., 2000. The impact of privatization and regulation on the water and sewerage industry in England and Wales: a translog cost function Approach. *Managerial and Decision Economics*, 21:6, 253-268.
- Sauer J., 2005. Economies of scale and firm size optimum in rural water supply. *Water Resources Research*, vol. 41.
- Stone y Webster, 2004. Investigation into evidence for economies of scale in the water and sewerage industry in England and Wales, final report, London.
- Torres M., Paul C., 2006. Driving forces for consolidation or fragmentation of the US water utility industry: A cost function approach with endogenous output. *Journal of Urban Economics* 59, 104-120.

## ANEXO I

# CARACTERÍSTICAS FUNCIONES UTILIZADAS ANÁLISIS ECONOMÍAS ESCALA Y ALCANCE

FUENTE	FORMA FUNCIONAL Y TIPO DE COSTO	DATOS	PRECIOS	PRODUCTOS	OTRAS VARIABLES
Ashton, 2003	Translog, Costo Variable	20 empresas de acueducto del Reino Unido, período 1991-1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Otros (costos de arriendos, materiales y energía divididos por los activos totales)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen anual de agua suministrada a los hogares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stock de Capital (activos operativos)</li> <li>• Densidad de Población del área de prestación</li> </ul>
Hayes, 1987	Cuadrática Generalizada, Costo Total	475 empresas de acueducto de Estados Unidos, años 1960, 1970, 1976		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de agua producida para venta al detal</li> <li>• Volumen de agua producida para venta en bloque</li> </ul>	
Fabbi y Fraquelli, 2000	Translog, Costo Total	173 empresas de acueducto de Italia, 1991	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Materiales y Capital (depreciación y costo de materiales divididos por longitud de red)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen anual de agua suministrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de usuarios</li> <li>• Densidad (población/longitud de red)</li> <li>• Costo de insumo de agua</li> <li>• Porcentaje de costos de tratamiento</li> </ul>
Sauer, 2005	McFadden Simétrica Generalizada, Costo Variable	47 empresas de acueducto en áreas rurales de Alemania, 2000-2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Químicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen anual de agua suministrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de conexiones</li> <li>• Longitud de red</li> <li>• Proporción de agua subterránea</li> <li>• Equity</li> </ul>
Kim y Clark, 1988	Translog, Costo Total	60 empresas de acueducto de Estados Unidos para 1973	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Capital</li> <li>• Energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen diario de agua suministrada a usuarios residenciales</li> <li>• Volumen diario de agua suministrada a usuarios no residenciales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad Utilizada</li> <li>• Distancia de la planta de tratamiento al área de servicio</li> </ul>

FUENTE	FORMA FUNCIONAL Y TIPO DE COSTO	DATOS	PRECIOS	PRODUCTOS	OTRAS VARIABLES
Stone y Webster, 2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Translog Costo Variable y Costo Total (escala)</li> <li>• Cuadrática Generalizada Costo Variable y Costo Total (alcance)</li> </ul>	38 empresas de acueducto y alcantarillado para los periodos 1992-1993 y 2002-2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Capital</li> <li>• Otros (costos no relacionados con trabajo, energía o capital)</li> </ul>	<p>Acueducto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen diario de agua suministrada</li> <li>• Conexiones de Acueducto</li> </ul> <p>Alcantarillado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexiones de alcantarillado</li> <li>• Población equivalente con servicio de alcantarillado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índices de cumplimiento con los estándares de calidad del agua potable</li> <li>• % de población conectada a la red de alcantarillado que recibe tratamiento secundario</li> <li>• Propiedades por debajo del nivel de referencia de presión</li> <li>• Propiedades con suspensiones superiores a 12 horas</li> <li>• Propiedades con riesgo de inundación de alcantarillado</li> <li>• Porcentaje de micromedición</li> <li>• Altura promedio de bombeo</li> <li>• Porcentaje de agua fuente de río</li> <li>• Porcentaje de aguas residuales industriales</li> </ul>
14 Mizutaniy Urakami, 2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Translog, Costo Total</li> </ul>	112 empresas de acueducto de Japón, 1994	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Materiales</li> <li>• Capital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen anual de agua suministrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad de la red</li> <li>• Capacidad Utilizada</li> <li>• Nivel de tratamiento</li> <li>• Proporción de consumo residencial</li> <li>• Proporción de agua no proveniente de presas</li> <li>• Proporción de agua no proveniente de fuentes subterráneas</li> </ul>
García y Thomas, 2001	Translog, Costo Variable	55 empresas de acueducto de Francia, periodo 1995- 1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Materiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen facturado</li> <li>• Volumen de Pérdidas (diferencia entre el volumen distribuido y el volumen facturado)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de conexiones</li> <li>• Número de comunidades locales de prestación</li> <li>• Longitud de red</li> <li>• Capacidad de Producción</li> <li>• Stocking</li> <li>• Capacidad de Bombeo</li> </ul>

FUENTE	FORMA FUNCIONAL Y TIPO DE COSTO	DATOS	PRECIOS	PRODUCTOS	OTRAS VARIABLES
Antonioli y Filippini, 2002	Cobb–Douglas, Costo Variable	32 empresas de distribución de acueducto, periodo 1991-1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de agua distribuida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de usuarios</li> <li>• Longitud de red</li> <li>• Porcentaje de pérdidas en la red</li> <li>• Numero de pozos</li> <li>• Tratamiento químico (variable dicótoma)</li> </ul>
Nauges y van den Berg, 2007	Translog, Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 27 empresas de acueducto y alcantarillado regionales de Brasil, 1996-2004</li> <li>• 48 empresas de acueducto y alcantarillado de Colombia, periodo 2003-2004</li> <li>• 41 empresas de acueducto y alcantarillado de Moldova, 1996-2004</li> <li>• 67 empresas de acueducto de Vietnam, 1997-2000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Servicios contratados externos</li> <li>• Misceláneos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen anual de agua producida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud de Red</li> <li>• Horas de servicio día</li> <li>• Proporción de agua facturada sobre agua producida</li> <li>• Porcentaje micromedición</li> <li>• Número de municipios de prestación</li> <li>• Número de roturas de red</li> <li>• Población a que se le presta el servicio</li> <li>• Porcentaje de usuarios residencial</li> </ul>
Torres y Paul, 2005	Cuadrática Generalizada de Leontief (GLQ), Costo Variable	255 empresas de acueducto de Estados Unidos, 1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Agua comprada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de agua vendida en bloque</li> <li>• Volumen de agua vendida a usuarios finales</li> <li>• Capacidad de almacenamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de tratamiento</li> <li>• Porcentaje de agua distribuida de fuentes subterráneas</li> <li>• Número de usuarios</li> <li>• Tamaño del área de prestación</li> <li>• Gastos en químicos</li> </ul>
Renzetti, 1999	Translog, Costo Total	77 empresas de acueducto y alcantarillado de Canadá, 1991	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Capital</li> </ul>	<p>Acueducto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de agua usuarios residenciales</li> <li>• Volumen de agua usuarios no residenciales</li> </ul> <p>Alcantarillado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de agua residual tratadas</li> </ul>	<p>Acueducto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad de población del municipio de prestación</li> </ul> <p>Alcantarillado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad de población del municipio de prestación</li> <li>• Tipo de tratamiento (aguas residuales)</li> </ul>

FUENTE	FORMA FUNCIONAL Y TIPO DE COSTO	DATOS	PRECIOS	PRODUCTOS	OTRAS VARIABLES
Saal y Parker, 2000	Translog, Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresas de acueducto y alcantarillado del Reino Unido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Capital</li> <li>• Materiales, energía y otros servicios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población residencial atendida por el sistema de acueducto, ajustado por factores de calidad</li> <li>• Población conectada al sistema de alcantarillado, ajustado por factores de calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de propiedad</li> <li>• Aplicación de revisión periódica OFWAT</li> </ul>
Bhattacharyya et al, 1994	Translog, Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 257 empresas de acueducto en Estados Unidos, 1992</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Materiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de agua suministrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factor de Capital Fijo</li> <li>• Número de fallas de red por unidad de producto</li> <li>• Tipo de Propiedad</li> </ul>

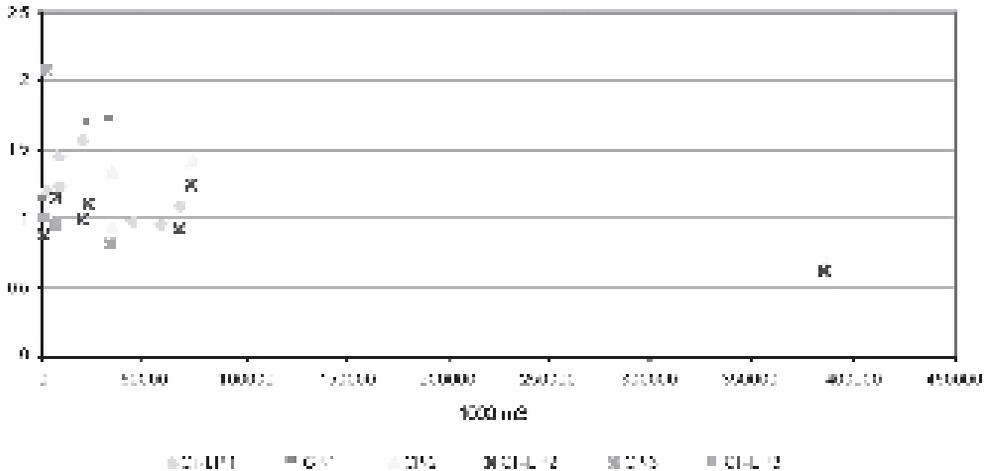
## ANEXO 2

RESULTADOS Y MEDIDAS DE LOS ESTUDIOS  
ECONOMÍAS DE ESCALA Y ALCANCE

FUENTE	TIPO DE COSTO	MEDIDA	ECONOMÍAS DE ESCALA	TAMAÑO PROMEDIO (1000 M <sup>3</sup> /AÑO)
Ashton, 2003	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Largo plazo; producto</li> </ul>	0,96	57.536
Hayes, 1987	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producto</li> <li>Producto</li> </ul>	1,90 (mínimo) 0,95 (máximo)	4.732 (mínimo) 132.489 (máximo)
Fabrizi y Fraquelli, 2000	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producto</li> <li>Producto y conexiones</li> </ul>	1,58	0,99 18.860
Sauer, 2005	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corto plazo; producto, conexiones y longitud de red</li> <li>Largo plazo; producto, conexiones y longitud de red</li> </ul>	2,08 2,08	1.200
Kim y Clark, 1988	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producto</li> </ul>	0,99	43.200
Stone y Webster, 2004	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corto Plazo; producto y numero de conexiones</li> <li>Corto Plazo; producto y numero de conexiones</li> <li>Largo Plazo; producto y numero de conexiones</li> <li>Largo Plazo; producto y numero de conexiones</li> </ul>	0,67** 1,42* 0,62** 1,25*	385.440** 73.000*
Mizutani y Urakami, 2001	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producto</li> <li>Producto y longitud de red</li> </ul>	1,10 0,92	66.620
García y Thomas, 2001	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corto plazo; producto</li> <li>Largo plazo; producto</li> <li>Corto plazo; producto y conexiones</li> <li>Largo plazo; producto y conexiones</li> <li>Largo plazo; producto, conexiones y comunidades locales</li> </ul>	1,14 1,20 1,04 0,87 1,00	555
Antonioni y Filippini, 2002	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Largo plazo; producto</li> <li>Largo plazo; producto y conexiones</li> <li>Largo plazo; producto, conexiones y longitud de red</li> </ul>	1,46 1,16 0,95	6.772 (mediana)

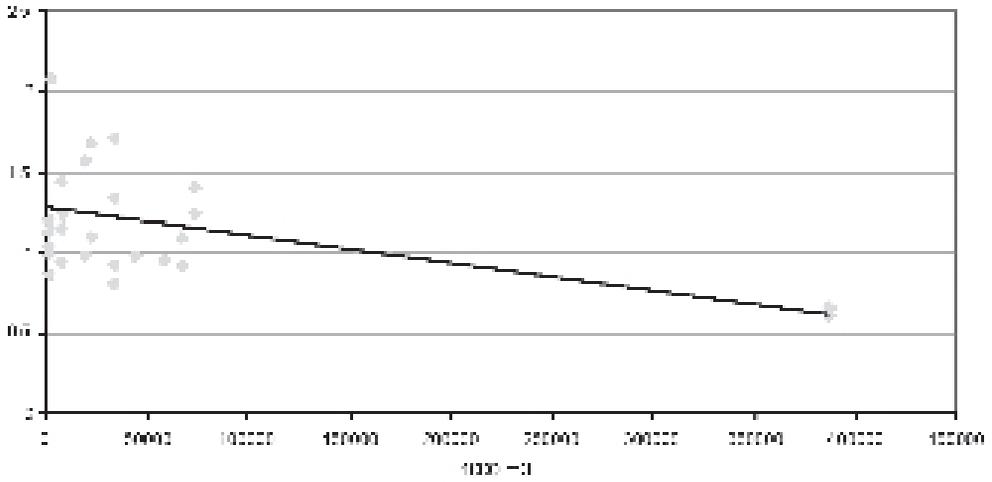
FUENTE	TIPO DE COSTO	MEDIDA	ECONOMÍAS DE ESCALA	TAMAÑO PROMEDIO (1000 M <sup>3</sup> /AÑO)
Nauges y van den Berg, 2007	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corto plazo; producto</li> <li>• Largo Plazo; producto y conexiones</li> </ul>	1,68 1,11	22.000
Torres y Paul, 2005	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corto plazo; producto</li> <li>• Corto plazo; producto y conexiones</li> <li>• Corto plazo; producto y área de servicio</li> <li>• Corto plazo; producto, conexiones y área de servicio</li> </ul>	1,72 1,35 0,93 0,81	33.228
Renzetti, 1999	Costo Total	• Producto	1,24	8.100
Saal y Parker, 2000	Costo Total	• Producto (Global: Acueducto+Al cantarillado)	0.83	ND

Economías de Escala vs. Media Producto por Tipo de Medida



CT-LP: Costo Total, Costo Variable Largo Plazo  
 CP: Costo Variable Largo Plazo  
 1: una medida de tamaño  
 2: dos medidas de tamaño  
 3: tres medidas de tamaño

Economías de Escala vs. Meda Producto



## ANEXO 3

### LISTA DE CUENTAS COSTOS

#### INCLUIDAS

51%,534507%,534508%,534509%,7505%,7510%,7517%,7537%,7540%,7545%,7550%,  
7560%,7570%,753701%,753702%,753703%,753704%,753705%,757004%,757005%

#### EXCLUIDAS

510206%, 510207%, 510208%, 510209%, 510210%, 510211%, 510212%,  
510213%, 510214%, 511141%, 5120%, 750526%, 750527%, 750528%, 750561%,  
750562%, 750563%, 750564%, 750565%, 750566%, 750569%, 751029%

# PROYECTO DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE Y REFORMA DEL MARCO REGULADOR<sup>1</sup>

**Julio César Aguilera Wilches. Asesor CRA.**

## **RESUMEN**

El nivel de pérdidas de aguas, tanto técnicas como comerciales, refleja en buena medida la gestión técnica y operativa de las empresas. En este sentido, la CRA considera que la presente revisión tarifaria debe contener señales para que las empresas se vuelvan más eficientes en la reducción de los niveles de pérdidas de agua. Bien es sabido que la reducción de los niveles de pérdidas puede coadyuvar al aplazamiento de inversiones consideradas inevitables. Por tanto una señal en pérdidas máximas admisibles más ajustada a óptimos económicos, puede ayudar no sólo a las empresas a buscar soluciones más estructurales en la gestión de sus pérdidas, sino a que los usuarios no perciban aumentos en las tarifas derivadas del costo evitado de nuevas inversiones.

**Palabras Clave: Agua potable, eficiencia, inversiones, reducciones.**

---

<sup>1</sup> Las opiniones del autor se hacen a título personal y no comprometen en nada la posición institucional de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

## I. INTRODUCCIÓN

El indicador de pérdidas aceptadas por la regulación definido en un 30% ha permanecido estable a lo largo de dos periodos regulatorios a partir de la expedición de la Resolución 08 de 1995, dado que la metodología tarifaria de la Resolución No.287 de 2004 no lo modificó. Este valor puede estar subvalorando los niveles eficientes de pérdidas que el regulador debe permitir incluir en las tarifas, es decir, puede estar enviando una señal no óptima a los agentes, resultando en comportamientos no eficientes con respecto al manejo de las pérdidas de agua.

En este sentido una buena señal regulatoria en el tema de pérdidas es aquella en la que se establece un valor regulatorio que se base en la relación costo-beneficio de su reducción hasta un punto  $p^*$ , considerado como óptimo económico para efectos regulatorios. Este punto debe generar, entre otras, las siguientes señales:

1. Aplazar inversiones en nuevas capacidades o ampliaciones en producción, en la medida en que el costo de éstas es cada vez mayor al necesitarse fuentes de agua cada vez más lejanas, generando costos de transporte especialmente prohibitivos.

2. Creación de programas de reducción de pérdidas en las que cada empresa efectuó una evaluación costo-beneficio de su implementación.

3. Existencia de catastros de usuarios y de redes que se relacionan directamente con los planes de inversión de las empresas y la gestión que éstas realizan frente a estos temas.

4. Uso racional del recurso, entendido bajo conceptos que no pueden ser únicamente medio ambientales, sino de costo-beneficio en la medida en que las reducciones de pérdidas pueden conllevar grandes esfuerzos financieros que tienen costos de oportunidad frente a otras necesidades, como lo es en si misma la expansión del servicio a los usuarios que aun no cuentan con el.

5. De lo anterior se puede deducir que el valor regulatorio de pérdidas es un parámetro que se fija para dar una señal que el regulador considera eficiente. Aquellos prestadores que encuentren relaciones costo-beneficio que determinen un valor de  $p^j$  más alto o más bajo al  $p^*$  determinado por la regulación, determinarán las acciones particulares que consideren pertinentes.

Entonces la definición de un valor de pérdidas “óptimas” toma aún mayor importancia en el contexto de la definición de metodologías tarifarias, en el escenario en que ésta se convierte en una señal de eficiencia que el regulador define para un sector, en el marco de las acciones que éste debe enviar a los regulados para dar cumplimiento a las funciones al primero asignadas.

Así las cosas dadas unas condiciones del sistema, la definición de este indicador no se convierte en una “camisa de fuerza” para las empresas, dado que éstas al realizar su evaluación, técnica, económica y financiera pueden concluir que su nivel de pérdidas actual es óptimo con respecto al establecido por la regulación. Si el nivel  $p^*$  regulatorio es inferior o su-

perior al de la empresa, ésta decidirá moverse en una u otra dirección en la medida en que su relación costo (marginal) /beneficio (marginal) de la reducción de pérdidas sea siempre positiva para la empresa y mayor que uno (1).

La reducción de pérdidas puede conllevar a aplazar inversiones consideradas indispensables para dotar a la población del servicio en el futuro, así como reducciones en la tarifa al usuario final quien finalmente se verá beneficiado.

Por todo lo anterior, la definición regulatoria del nivel del índice de pérdidas de agua se erige como uno de los principales elementos de revisión tarifaria, dado que no solo son una señal de eficiencia que el regulador debe incorporar, sino por la trascendencia que implica el uso racional del recurso bajo una óptica de racionalidad económica, técnica y financiera.

Este documento es un resumen ejecutivo del estudio presentado por la firma International Consulting Corporation -ICC-, en el marco de la donación por parte de la Agencia de Comercio y Desarrollo de los Estados Unidos de América (USTDA) para financiar el Proyecto “Reducción de Agua Potable y Reforma del Marco Regulador de Colombia”, cuyo organismo ejecutor es la CRA.

Los objetivos principales del estudio son los siguientes:

- Dotar al sector de un marco lógico de análisis y herramientas de apoyo para la toma de decisiones eficientes respecto al control de agua no contabilizada.
- Proponer medidas para reducir las pérdidas técnicas y comerciales de los sistemas de agua potable en Colombia.
- Recomendar reformas al marco regulador que faciliten la aplicación de las medidas recomendadas.
- Brindar herramientas analíticas sólidas a la industria del agua que le permitan abordar el tema de las pérdidas desde una perspectiva integral, involucrando criterios económicos, financieros, técnicos, jurídicos y ambientales.
- Revisar el estado del arte de la gestión de las pérdidas en Colombia, comparando el comportamiento de las empresas entre sí, y de Colombia con otros países.
- Plantear los modelos que servirán de base para las posteriores discusiones en torno al tema de las pérdidas de agua.

## 2. METODOLOGÍA GENERAL

La finalidad de la política de control de pérdidas puede ser resumida en la minimización de tres tipos de costos: i) Costos Ambientales que contemplan los costos de mitigación de los proyectos de extracción y distribución; ii) Costos de Conservación de los Recursos, que corresponde a los costos evitados de acceso a fuentes alternas y al costo de oportunidad del recurso utilizado (fuentes); iii) Costos (Evitados) de producción, tratamiento, bombeo del agua que no es facturada por la empresa.

Las pérdidas de una empresa pueden ser desagregadas en técnicas y comerciales. Las primeras pueden ser divididas en: i) Fugas en

transmisión y distribución; ii) Vertimientos tanques almacenamiento y; iii) Fugas en las conexiones a medidores de los usuarios. Las pérdidas comerciales se pueden clasificar en i) consumos no facturado medido y; ii) consumo no facturado no medido; iii) consumos ilegales y; iv) Errores en medición y facturación.

Para una mejor descripción de las pérdidas totales en técnicas y comerciales en sus diferentes componentes, el cuadro siguiente establece el balance del agua en términos de lo producido y su distribución para efectos del control de pérdidas:

**TABLA I. MATRIZ DE BALANCE DE AGUA**

<b>PRODUCCIÓN NETA</b>	<b>Consumo legal</b>	<i>Consumo Legal Facturado</i>	<i>Consumo Facturado Medido</i>	<b>Facturación</b>	<b>Agua facturada</b>
			<i>Consumo Facturado No Medido</i>		
	<b>Consumo legal No. Facturado</b>	<i>Consumo Legal No. Facturado</i>	<i>Consumo No Facturado Medido</i>	<b>Pérdida Comercial</b>	<b>Agua no facturada</b>
			<i>Consumo No Facturado No Medido</i>		
	<b>Pérdidas de Agua</b>	<b>Pérdida No-técnica</b>	<i>Consumo Ilegal</i>	<b>Pérdida Comercial</b>	
			<i>Errores Medición y Facturación</i>		
		<b>Pérdida Técnica</b>	<b>Pérdida Técnica</b>	<i>Fugas Transmisión y Distribución</i>	
	<i>Vertimientos y Tanques Almacenamiento</i>				
	<i>Fugas Conexión a Medidores Clientes</i>				

Fuente: International Consulting Corporation.

El cuadro se describe a continuación:

**El consumo legal** tiene dos componentes: i) Consumo Legal Facturado Medido y ii) Consumo Facturado No Medido. Este último corresponde a las facturaciones que se efectúan con promedios u otras formas de cobro.

**El consumo legal no facturado** tiene dos componentes: i) Consumo No Facturado Medido y ii) Consumo No Facturado No Medido. Estos consumos incluyen conjuntos habitacionales y otros usuarios no facturados pero autorizados (usuarios con imposibilidad de facturar, generalmente asentamientos ilegales), uso de hidrantes, riego de parques públicos, etc.

**Las Pérdidas No Técnicas** incluyen: i) el Consumo Ilegal (fraudes y usos clandestinos masivos y dispersos) y ii) los Errores de Medición y Facturación (errores de arranque y falta de precisión de los medidores y clientes facturados por promedio y otros errores de facturación).

**Las Pérdidas Técnicas** incluyen: i) Fugas, transmisión y distribución, ii) Vertimientos de los tanques de almacenamiento y, iii) Fugas conexiones a medidores de clientes.

Para efectos de establecer el balance de agua como una forma de determinar el nivel total de pérdidas a nivel país, el estudio tomo una muestra de 23 prestadores para los años 2000, 2001 y 2002<sup>2</sup> a los cuales se les calculó las pérdidas técnicas y comerciales. Estos se calcularon a partir de la relación de pérdidas comerciales con el Índice de Agua no Contabilizada (IANC) informados por las empresas. Lo anterior con el fin de poder desagregar de las pérdidas totales, aquellas que corresponden netamente a pérdidas comerciales.

De acuerdo con los resultados obtenidos utilizando el análisis de regresión entre las pérdidas comerciales y el IANC, no se encontró un alto coeficiente de determinación ( $r^2=0,1562$ ), lo que quiere decir que el IANC no explica muy bien el nivel de pérdidas comerciales. Visto desde otra óptica, los niveles de pérdidas comerciales no tienen una alta correlación con el IANC de la empresa correspondiente.

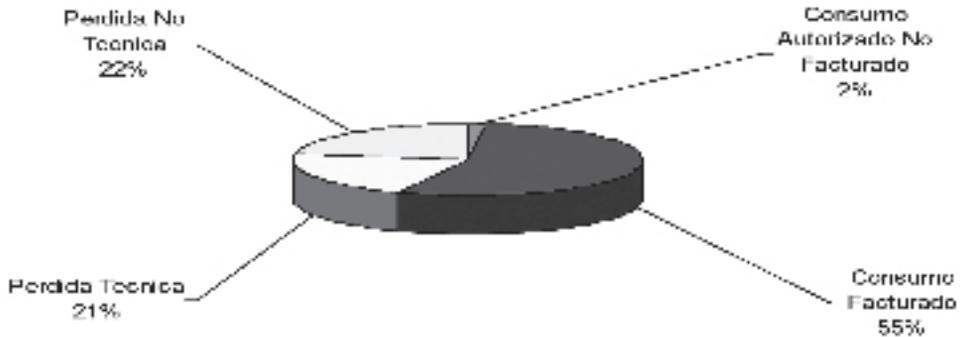
La única empresa que presenta datos desagregados de pérdidas comerciales es la Empresa de Acueducto de Bogotá (para un conjunto de 24 secciones de su sistema). Esto presenta un problema a la hora de determinar niveles “eficientes” de pérdidas técnicas y comerciales. Con la finalidad de efectuar una aproximación a los valores de pérdidas eficientes para las empresas de la muestra, se utilizan los porcentajes encontrados por la EAAB.

De otra parte, el nivel de pérdidas técnicas que se utiliza para este ejercicio se obtiene de la desagregación en fallas en los conductos de red, fugas en las conexiones y vertimientos en los tanques de almacenamiento. Como en el caso de las pérdidas comerciales, las empresas no cuentan con información desagregada. La consultoría tomó los resultados del estudio de Jorge Pablo Velasco, “Programa de Control de Pérdidas y Sectorización en Bogotá 1999-2001”, en el cual se determina que el nivel de pérdidas técnicas por fallas en la red representa el 20% del total de pérdidas técnicas, el 75% por fugas en conexiones y un 5% por vertimientos en los tanques de almacenamiento.

Con lo anterior, el resultado del balance de agua para el año 2004 obtenido fue el siguiente:

<sup>2</sup> Fuente: ANDESCO

## GRÁFICO I. BALANCE DE AGUA 2004



Fuente: International Consulting Corporation.

Lo anterior muestra que del total de agua producida en el país el 55% se facturó, mientras que el 45% correspondería a la pérdida total.

Antes de entrar a resumir la metodología utilizada es importante tener en cuenta que el **concepto de pérdidas de agua no es sinónimo de agua no factura-**

**da.** Este último incluye el consumo legal no facturado, el cual no puede ser interpretado como pérdida debido a que en éste se encuentran consumos autorizados legalmente que no son facturables (asentamientos ilegales, uso de hidrantes, riego de parques, etc).

De lo anterior se tiene, entonces:

### Ecuación 1

*Agua No Facturada – Consumo Legal No Facturado = Pérdidas de Agua*

### Ecuación 2

*Pérdidas Técnicas + [Consumo Ilegal + Errores de Medición y Facturación] = Pérdidas de Agua*

De las ecuaciones anteriores se puede concluir que las pérdidas comerciales a tener en cuenta para medir la (in) eficiencia de una empresa son aquellas sobre las cuales la empresa puede actuar directamente, es decir los consumos ilegales y los errores de medición y facturación.

Las pérdidas técnicas afectan principalmente: i) los niveles de producción (y por tanto los costos de producción, tratamiento, transporte, bombeo y distribución), ii) los costos de oportunidad ambiental y social (externalidades). Las pérdidas comerciales

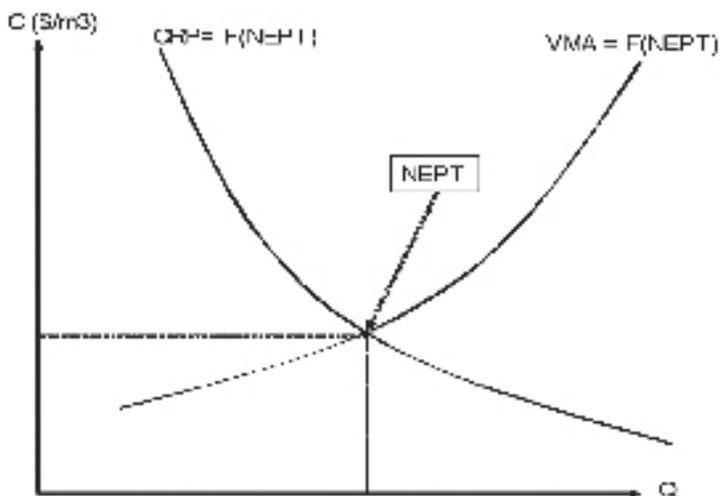
en cambio afectan fundamentalmente el nivel de facturación y su nivel de ingresos, pero no significativamente al nivel de demanda. Por lo anterior, la consultoría se concentra en las pérdidas comerciales, sobre las cuales, la empresa puede actuar de manera directa.

A estas se les denomina el **Nivel Máximo de Pérdidas Comerciales (NAPC)** y se calculan para hallar el nivel de pérdidas a ser determinadas por vía regulatoria.

La metodología utilizada en el presente estudio se resume a continuación:

1. Estimación de una muestra representativa de prestadores.
  2. Definición de grupos homogéneos de empresas y selección de empresas tipo por cada grupo, con excepción del grupo que concentra las grandes empresas, las cuales entran individualmente en el modelo.
  3. Estimación del **NEPT** (Nivel Económico de Pérdidas Técnicas) que corresponde al punto en el cual el Costo Marginal de Reducción de Pérdidas (**CRP**) se iguala con el Valor Marginal del Agua (**VMA**), medido como los costos evitados del agua no consumida (Costos incrementales producción, transporte, tratamiento y distribución del agua que se tendría que producir para poder cubrir toda la demanda).
  4. Cálculo del CRP (Costo de Reducción de Pérdidas): Aproximación a través de las funciones **CDF** (Costo Detección de Fugas) y **CCP** (Costo Control de Presiones), las cuales corresponden a las dos principales estrategias para la reducción de pérdidas de agua en una red.
  5. Cálculo del Nivel Máximo de Pérdidas Comerciales (**NAPC**).
  6. Cálculo del Nivel Máximo de Pérdidas de Agua Totales (**IANC**), como resultado de la suma del NEPT y el NAPC.
- Las funciones VMA y CRP corresponden a valores marginales de beneficio y costo en función del nivel de pérdida técnica de la empresa, por lo que el cruce entre las dos curvas indica el nivel de pérdidas para el cual se iguala el costo marginal y el beneficio marginal de reducción de pérdidas, con lo cual se logra una situación de equilibrio de mercado.

**GRÁFICO 2. FUNCIONES VMA Y CRP**



Fuente: International Consulting Corporation.

Para el cálculo del VMA se tuvo en cuenta la capacidad remanente de los sistemas (sobrecapacidad de los sistemas, es decir el exceso de capacidad dada una demanda y su crecimiento proyectado en condiciones “normales”). Partiendo de la premisa de que los sistemas operando en forma eficiente deberían corresponder a sistemas ajustados (sin sobrecapacidad) a la demanda, se hace una estimación de los niveles de pérdidas admisibles ya que estos serían los que resultan de un sistema en

condiciones de un mercado competitivo, tal y como lo establece la Ley 142 de 1994<sup>3</sup>.

Con lo anterior se definieron metas de IANC, NAPC y NEPT a corto plazo (2010) basadas en las capacidades existentes de los sistemas así como metas a largo plazo (2015) como resultado del “ajuste” de los sistemas.

A continuación se desarrolla cada uno de los temas antes resumidos.

---

<sup>3</sup> En este caso se parte del hecho de que independientemente de las razones por las cuales existe sobredimensionamiento (caídas en la demanda por el efecto de la elasticidad precio de la demanda, por ejemplo), el usuario no debería pagar el costo de la sobrecapacidad.

### 3. EL VALOR MARGINAL DEL AGUA - VMA -

El concepto de valor marginal del agua está asociado al beneficio asociado a la reducción de pérdidas el cual corresponde a los **costos evitados en inversiones**<sup>4</sup> hechas para producir, conducir, bombear, tratar y almacenar volúmenes de agua no consumida. Adicionalmente,

aunque menos importantes, **también se “evitan” costos de operación y mantenimiento (O&M)** asociados a los químicos y energía para bombeo, aunque no se puede subestimar el peso de estos costos dentro de la estructura total de costos de las empresas.

Esto puede representarse de la siguiente forma:

#### Ecuación 3

$$VMA = CILP = \text{Costos Evitados (Inv, O\&M)}$$

#### Ecuación 4

$$CILP = CILP^P + CILP^{Tte} + CILP^{Tto} + CILP^D$$

Donde:

*VMA: Valor Marginal del Agua.*

*CILP: Costo Incremental de Largo Plazo Total.*

*CILP<sup>T</sup>: Costo Incremental de Largo Plazo de Producción.*

*CILP<sup>Tte</sup>: Costo Incremental de Largo Plazo de Transporte.*

*CILP<sup>Tto</sup>: Costo Incremental de Largo Plazo de Tratamiento.*

*CILP<sup>D</sup>: Costo Incremental de Largo Plazo de Distribución.*

Entonces, el valor marginal del agua corresponde al costo incremental de largo plazo de su dotación al usuario final.

Para el cálculo del VMA se siguió el siguiente procedimiento:

#### **1. Determinación de los planes de expansión de costo mínimo (PECM) para cada empresa en el período 2006**

– **2015:** A partir de las condiciones existentes a fines de 2004 se determinó el plan de obras de costo mínimo y su correspondiente programa de inversiones anuales para niveles de pérdidas técnicas de 10%, 20% 30%, 40% y 50%. Este cálculo se realizó mediante la aplicación del modelo WATERPLAN<sup>5</sup> considerando que los mencionados niveles de pérdidas se mantenían constantes durante todo el período de análisis 2006 – 2015.

<sup>4</sup> Para el presente estudio se tomaron los costos evitados para un periodo comprendido entre 2006 y 2015.

<sup>5</sup> El modelo consta de una base de datos que permite analizar los costos unitarios de las diferentes obras de agua potable (Captación, Tratamiento, Almacenamiento, Distribución) y de alcantarillado sanitario (Redes, Colectores, Tratamiento de Aguas, Estaciones de Bombeo). Se calcularon las funciones de costo y los coeficientes respectivos, con las cuales se evaluaron los planes de expansión de las empresas.

## 2. Determinación de los costos anuales de O&M para cada PECM:

Para cada plan de obras se determinó el programa asociado de Costos de Operación y Mantenimiento (O&M), incluyendo tanto los costos de los sistemas de agua potable (producción, transporte, tratamiento, distribución y comercialización) como los de saneamiento básico (recolección, tratamiento y descarga). Este cálculo se realizó mediante la aplicación del modelo FINEVAL manteniendo constante el nivel de pérdidas comerciales del prestador.

**3. Cálculo del valor presente de los costos de inversión, costos de O&M, costos totales y demanda de agua potable para cada PECM:** Fue calculado el valor presente del programa de egresos totales (inversiones y O&M) para cada uno de los niveles de pérdidas evaluados. Finalmente, considerando el hecho de que la demanda servida es independiente del nivel de pérdidas técnicas de la red, el VMA para niveles de pérdidas de 15%, 25%, 35% y 45% fue calculado mediante la expresión:

$$VMA_i = \frac{VP(CT_2) - VP(CT_1)}{VP(D)}$$

Donde:

VMA<sub>i</sub> = valor marginal del agua para un nivel de pérdidas *i* (US\$/m<sup>3</sup>)

VP(CT<sub>2</sub>) = valor presente de costos anuales totales para el nivel superior del rango *i* (millones US\$)

VP(CT<sub>1</sub>) = valor presente de costos anuales totales para el nivel inferior del rango *i* (millones US\$)

VP(D) = valor presente de la demanda anual diferencial del sistema (millones m<sup>3</sup>)

**4. Cálculo de los beneficios incrementales (o VMA), dados por las diferencias del valor presente de los costos totales, divididas por las diferencias del valor presente de**

**la demanda de agua potable, para cada incremento de pérdidas.**

**Es importante tener en cuenta que el estudio tiene en cuenta que muchos sistemas en el país presentan capacidades por encima del nivel que permite cubrir la demanda. La consultoría modela entonces los valores de VMA y CRP para dos escenarios:**

1. Escenario con capacidad actual: Mantiene la capacidad real del sistema, sin distinguir aquella parte del mismo que no se está usando.
2. Escenario con capacidad ajustada: No tiene en cuenta el “exceso” de capacidad instalada y supone que al final del periodo estudiado será utilizada.

Lo anterior hace suponer que los sistemas con mayor capacidad excedentaria tendrán valores marginales del agua más bajos, dado que el costo de oportunidad de la reducción de pérdidas es más alto que en sistemas en los cuales el sistema si a caso permite cubrir la demanda del servicio.

Apartir de lo anterior se halló lo siguiente:

1. Debido fundamentalmente a la sobre-capacidad de producción que existe actualmente en la mayor parte de los sistemas de los prestadores evaluados los VMA resultan inferiores, porque un aumento de pérdidas no requiere de inversiones adicionales en el corto plazo. En otras palabras, el costo de oportunidad del agua en un escenario en el que el sistema presenta capacidad excedentaria resulta muy bajo. En este caso, los niveles de pérdidas aceptables dados por los NEPT resultan superiores a los correspondientes a sistemas que presentan una oferta de agua muy cercana a la demanda de la misma. Por lo tanto, los VMA de las 20 empresas pivote fueron calculados considerando los componentes de los sistemas con capacidades iniciales ajustadas a las demandas. No obstante lo anterior, un cálculo

lo similar fue hecho con las capacidades reales existentes a comienzos de 2005, de modo de apreciar la importancia de esta situación.

2. El cálculo de valor presente fue realizado para tasas de costo del capital de 8%, 10% y 12%, observándose que la variación de este parámetro no tiene un impacto importante en los resultados. Por este motivo se decidió utilizar la tasa de 12%, para la cual los VMA son levemente superiores (NEPT levemente inferiores).

***La principal conclusión es que los VMA calculados con las capacidades existentes de los sistemas son menores que los calculados con las capacidades ajustadas del mercado. Lo anterior se debe a que incrementos en las pérdidas de agua no necesariamente significan inversiones adicionales, ya que existe capacidad excedente de los sistemas.***

## 4. COSTOS DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS

Para la determinación del costo de pérdidas se utilizaron dos Proxy buscando la que mayor fuerza explicativa diera al modelo. En primer lugar se utilizó como Proxy el Costo de Detección de Fugas (CDF), y posteriormente se utiliza la Proxy Costo de Control de Presiones (CCP).

### 4.1. FUNCIÓN DE COSTO DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS (CRP) UTILIZANDO COMO PROXY EL COSTO DE DETECCIÓN DE FUGAS (CDF)

El costo de detección de fugas (CDF) es muy similar en todas las empresas, difiriendo solamente por el tamaño del mercado y por tanto la función puede ser aplicada a los tres grupos de empresas. Los niveles de fuga de 20 empresas analizadas se encontraron dentro del rango medio comparable al de empresas de agua de Asia y de Chile. La tabla siguiente muestra los resultados encontrados:

**TABLA 2. COMPARACIÓN DEL COSTO DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS**

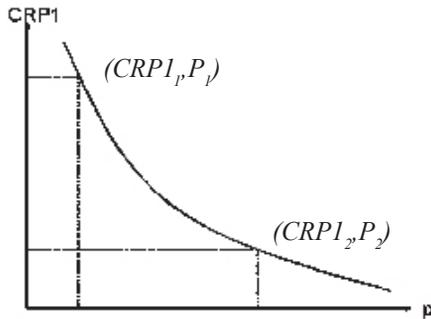
TIPO EMPRESA	ASIA		CHILE		COLOMBIA	
	FUGAS (M <sup>3</sup> /CON)	CRP (US\$/1000 M <sup>3</sup> )	FUGAS (M <sup>3</sup> /CON)	CRP (US\$/1000 M <sup>3</sup> )	FUGAS (M <sup>3</sup> /CON)	CRP (US\$/1000 M <sup>3</sup> )
Mayor	105.6	8.35	59.8	12.24	75.4	8.19
Mediana	152.9	4.30	64.3	12.37	126.9	6.18
Menor	261.4	1.22	50.8	17.30	95.2	8.58

Fuente: International Consulting Corporation.

El análisis de regresión aplicado permitió encontrar una función decreciente de los costos de reducción de pérdidas en relación con el aumento del nivel de pér-

didas. En otras palabras, **a medida que aumenta el nivel de pérdidas (m<sup>3</sup>/conexión) el costo de reducción de las pérdidas (\$/1000m<sup>3</sup>) disminuye.**

**GRÁFICO 3. FUNCIÓN DE COSTOS DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS**



**4.2. FUNCIÓN DE COSTO DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS (CRP2) UTILIZANDO COMO PROXY EL COSTO DE CONTROL DE PRESIONES (CCP)**

El control de presiones tiene la finalidad de reducir las variaciones y el valor medio de las presiones en los diferentes puntos de la red para reducir la frecuencia de fallas y las fugas, así como reducir la demanda y mantener condiciones mínimas aceptables para el consumidor. Es así como el nivel medio de presiones en una red de distribución de agua, así como sus variaciones horarias, tienen un gran impacto en el número de fallas en las tuberías. Esto resulta en un mayor nivel de fugas y/o en un mayor costo de detección y reparación de fallas.

La relación entre el nivel de fugas F y la presión P puede considerarse mediante la función  $F_1/F_0 = (P_1/P_2)^N$  donde N varía entre 0.5 y 2.5 dependiendo del tipo de tubería y juntas, así como de la clase predominante de fugas.

Las pequeñas fugas imperceptibles en juntas y accesorios de una red son muy sensibles a la presión, con valores típicos de N=1.5. Lo mismo sucede para fugas más importantes y detectables. El uso de valores de N superiores a 1.5 puede justificarse en el caso de sistemas con un alto nivel de fugas y/o cuando el sistema esté compuesto fundamentalmente por un material excesivamente flexible y de baja calidad.

Los resultados obtenidos de la aplicación del método CCP para reducción de fugas fueron mejores que lo esperado, confirmándose que este procedimiento es más económico que el método de control de fugas (CDF) cuando los niveles de pérdidas son superiores al 25%-35% del volumen de agua entregada a la red. Esto significa que en sectores de la red con pérdidas físicas superiores al rango indicado es prioritario reducir las fugas mediante un adecuado control de presiones, antes de aplicar una política activa de detección y reducción de fugas.

**TABLA 3. COSTO DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS (MÉTODO CCP PARA N=1.5)**

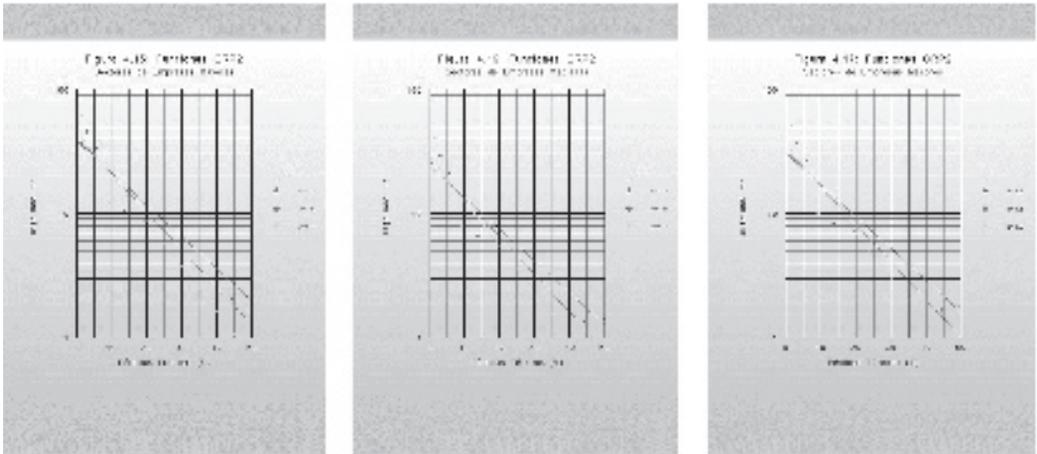
EMPRESAS MAYORES		EMPRESAS MEDIANAS		EMPRESAS MENORES	
PÉRDIDAS (%)	CRP2 (US\$/1000 M <sup>3</sup> )	PÉRDIDAS (%)	CRP2 (US\$/1000 M <sup>3</sup> )	PÉRDIDAS (%)	CRP2 (US\$/1000 M <sup>3</sup> )
44.25	2.08	44.25	1.32	44.25	1.67
13.60	10.42	13.60	6.63	13.60	8.38
3.03	45.87	3.03	29.16	3.03	36.89

Fuente: International Consulting Corporation.

El cálculo de las funciones CRP2 utilizando como Proxy el CCP se ha hecho considerando un  $N=1.5$ , como caso base, y sensibilidades de  $N=1.3$  y  $N=1.7$ . Cada sistema se ha considerado compuesto por sectores de 10,000 conexiones (aproximadamente 50,000 habitantes) y se ha definido el costo de un proyecto que permita reducir presiones medias de 90 m a 30 m. El costo de estos proyectos resultó en un valor unitario de US\$ 0.64 por conexión. Las funciones de CRP2, para el caso de  $N=1.5$ , se muestran en la tabla anterior.

Las figuras a continuación ilustran la línea de ajuste calculada para cada tipo de empresas. Estas permiten concluir que el método de reducción de pérdidas por control de la presión es la solución de menor costo para niveles altos de fugas, mientras que el método basado en política activa de detección de fugas es la mejor alternativa cuando el nivel de fugas ha sido ya reducido a valores razonables.

**GRÁFICO 4. LÍNEA DE AJUSTE CALCULADA PARA CADA TIPO DE EMPRESA**



Fuente: International Consulting Corporation.

De lo anterior se concluye lo siguiente:

Para empresas mayores:

- CCP es mejor que CDF si el nivel de fugas > 25%.
- Para niveles de fugas < 20% se debe efectuar un análisis costo/beneficio para decidir la intensidad de la aplicación de uno u otro método.

Para empresas medianas:

- CCP es mejor que CDF si el nivel de fugas > 21%.

- Para niveles de fugas < 17% se debe efectuar un análisis costo/beneficio para decidir la intensidad de la aplicación de uno u otro método.

Para empresas pequeñas:

- CCP es mejor que CDF si el nivel de fugas > 20%.
- Para niveles de fugas < 17% se debe efectuar un análisis costo/beneficio para decidir la intensidad de la aplicación de uno u otro método.

## 5. NIVEL ECONÓMICO DE PÉRDIDAS TÉCNICAS - NEPT -

El nivel económicamente eficiente de pérdidas se obtiene en el punto en el cual los beneficios marginales que se obtienen de la reducción del

nivel de pérdidas, igualan a los costos marginales que se generan por la reducción de pérdidas.

Beneficio Marginal de Reducción de Pérdidas	=	Costo Marginal de Reducción de Pérdidas
--	---	--

El beneficio marginal que se obtiene por la reducción de pérdidas está asociado a los costos evitados asociados a las reducciones marginales de las pérdidas de agua, es decir los costos incrementales de la producción, el transporte, el tratamiento y la distribución de agua potable (es decir el valor marginal del agua o VMA).

asociados a los planes de expansión de mínimo costo (PECM) para las empresas de la muestra para niveles de pérdidas técnicas de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%. Para cada PECM (determinado para cada nivel de pérdidas) se calculan los costos anuales de operación y mantenimiento y la demanda de agua.

En este caso se tuvo en cuenta el posible efecto de los sistemas que se encuentren con capacidades por encima de la demanda, efectuando el cálculo del beneficio marginal del agua con **la capacidad existente (VMA Real) así como el cálculo en un escenario en el cual los sistemas se encuentren ajustados a la demanda (VMA Ajustado).**

El costo marginal de reducción de pérdidas (CRP1 y CRP2) está asociado al costo incremental de reducción de pérdidas al pasar de una política pasiva de reducción a una política activa, que para el caso del presente estudio se asocia mediante dos Proxy: el costo (incremental) de detección de fugas (CDF) mediante mejores sistemas de detección de fugas, y el costo (incremental) de control de presiones (CCP) mediante la utilización de mejores sistemas de control de presiones en la red, asociados a diferentes niveles de pérdidas de agua.

De manera intuitiva, es lógico que en un sistema que tiene una capacidad instalada superior a la necesaria para dotar al sistema (Oferta > Demanda) el valor marginal del agua sea bajo, dado que su costo de oportunidad es bajo. De manera contraria, un sistema cuyo uso se encuentra cercano a su capacidad instalada, el valor marginal del agua debe ser alto. En este sentido, el modelo recoge las diferencias que se dan por efecto de contar con sistemas con capacidades por encima de los niveles necesarios para cubrir la demanda.

Posteriormente se efectúa el cálculo de los niveles económicos de pérdidas técnicas, determinado por la intersección de las funciones VMA y CRP1-CRP2, lo que significa igualar los beneficios marginales del ahorro del agua con el costo marginal de la reducción de las pérdidas.

La aproximación para el cálculo del beneficio marginal parte de hallar los costos

Los resultados obtenidos permiten concluir que los niveles económicos de pérdidas técnicas para las empresas mayores, medianas y menores son de **18.6%, 15.5% y 13.5%**,

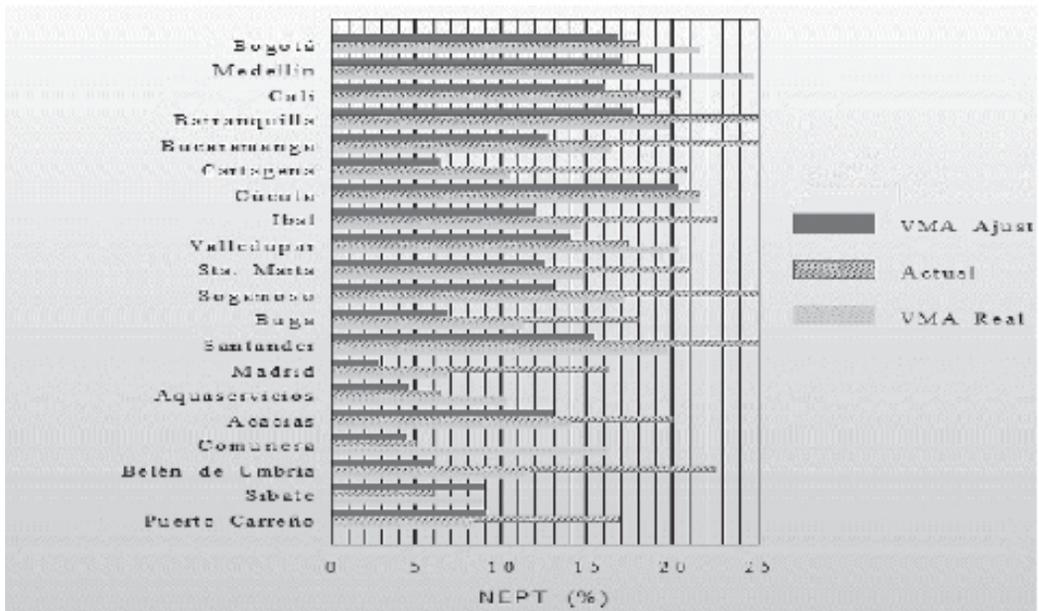
respectivamente, para niveles de VMA reales. Para VMA ajustado los valores fueron de 15.7%, 12% y 8.3%, respectivamente, los cuales resultan mas estrictos en la medida en que estos se ajustan a la demanda.

Los NEPT están fundamentalmente influenciados por el VMA, ya que este valor está relacionado con el costo incremental de las mayores inversiones y costos operativos requeridos para cubrir mayores niveles de pérdidas.

Por otro lado, los CRP no dependen tanto de las características de los mercados de

las empresas, ya que los costos de detección de fugas y control de presiones son relativamente similares para los diferentes sistemas, especialmente si se consideran servicios externos. Por este motivo, las funciones CRP son iguales para todos los sistemas de un grupo de empresas, e independientes de la hipótesis que se haga sobre VMA. Lo anterior justifica la buena correlación (El coeficiente de correlación de este ajuste es de  $R= 0.8723$ ) que encuentra entre el NEPT determinado para cada empresa y su correspondiente VMA.

**GRÁFICO 5. PÉRDIDAS TÉCNICAS ACTUALES Y NEPT**



Fuente: International Consulting Corporation.

El gráfico anterior muestra los valores actuales de las pérdidas técnicas y los NEPT obtenidos para las veinte empresas de la muestra representativa (metas de eficiencia económica), considerando los sistemas con y sin ajuste a la demanda.

En general, se puede observar que los sistemas mayores no deberían tener dificultades de adaptación a los NEPT aquí definidos en un plazo corto. Sin embargo, para los sistemas medianos y especialmente los menores, los esfuerzos requeridos para reducir las pérdidas técnicas son de mayor magnitud.

## 6. NIVEL ECONÓMICO DE PÉRDIDAS COMERCIALES - NEPC -

Las pérdidas comerciales están compuestas por los consumos ilegales medidos y los errores de medición y facturación.<sup>6</sup>

En estricto rigor, el NEPC debiera ser determinado también a través de una relación costo/beneficio. En este caso, el costo marginal corresponde al costo de pasar de una política pasiva a una política activa de control de las pérdidas comerciales, y debería ser igual al beneficio marginal dado por el incremento de facturación de la empresa (beneficio financiero) más el beneficio económico marginal asociado a la posible reducción de demanda de los consumidores ilegales. Debido a la falta de datos de las empresas sobre gestión de pérdidas comerciales y la existencia de consumos no facturables que no están bajo el control de las empresas, en lugar del NEPC se utilizó la aproximación de nivel aceptable de pérdidas comerciales (NAPC). La única empresa que presenta datos desagregados es la EAAB, la cual presenta un valor medio de 6.7% de pérdidas comerciales.

El beneficio financiero que tiene para una empresa facturar volúmenes de agua que han producido, transportado, tratado y distribuido es tan alto que muchas de las regulaciones tarifarias no incluyen estas pérdidas como parte de la base tarifaria. Es decir, asumen que la empresa tiene un incentivo financiero más que suficiente como para ser eficiente en este aspecto. Considerando que un porcentaje de estas pérdi-

das podría incluir consumos legales no facturables, algunas regulaciones aceptan que un valor pequeño de pérdidas comerciales, generalmente 1.5% a 3.5%, pueda ser incluido en la tarifa.

Con la finalidad de cuantificar los beneficios y costos de las empresas al reducir sus niveles de pérdidas comerciales, fue procesado el modelo FINEVAL para determinar los costos de operación y mantenimiento y los volúmenes de agua facturados considerando dos niveles de pérdidas comerciales: valor actual y 3%.

Los beneficios incrementales corresponden, entonces, a los ingresos marginales obtenidos por la mayor facturación generada por la reducción de pérdidas comerciales. Los resultados encontrados permiten concluir que el beneficio unitario por reducción de pérdidas comerciales es de 0.43 US\$ por m<sup>3</sup>, lo que corresponde a la tarifa promedio ponderado del agua para el conjunto de empresas de la muestra analizada.

Con respecto a los costos de reducción de pérdidas comerciales, se utilizaron cifras extractadas de estudios en Colombia y otros países Latinoamericanos, en donde se ha encontrado que el costo de evaluación de conexiones ilegales y medidores adulterados US\$ 25 por conexión y el costo medio de reemplazo de la conexión dañada o adulterada se ha estimado en US\$ 25.50.

*6 La otra parte de las pérdidas comerciales corresponden a los consumos legales que no se facturan y no se miden, que como se había explicado anteriormente no son tenidas en cuenta para este estudio en la medida en que sobre estas las empresas no tienen mayor ingerencia y no dependen de su gestión propiamente dicha.*

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo con valores estimados para Colombia para una muestra de 1000 conexiones. El resultado no depende el número de conexiones, ya que las relaciones son prácticamente lineales (bajas economías de escala).

**TABLA 4. RELACIÓN COSTO/BENEFICIO REDUCCIÓN PÉRDIDAS COMERCIALES**

ITEM	A	B	C	D
Número conexiones	1.000	1.000	1.000	1.000
Nivel de evaluación (%)	0.50	0.50	0.50	0.50
Número de conexiones Evaluadas	5	5	5	5
Costo evaluación (Us\$/conexión)	25.00	25.00	25.00	25.00
Costo Anual Evaluación (US\$)	125.00	125.00	125.00	125.00
Casos sospechosos positivos (%)	50.00	40.00	30.00	20.00
Número de Reemplazos	2.50	2.00	1.50	1.00
Costo de reemplazos (Us\$/conexión)	25.50	25.50	25.50	25.50
Vida útil instalación (años)	10.00	10.00	10.00	10.00
Tasa Anual costo Capital (%)	12.00	12.00	12.00	12.00
Costo anual capital (US\$)	11.289.03	6.77	4.51	
Costo Anual Total (US\$)	136.28	134.03	131.77	129.51
Consumo anual por conexión (m <sup>3</sup> )	210.00	210.00	210.00	210.00
Facturación Adicional Anual (m <sup>3</sup> )	525.00	420.00	315.00	210.00
Beneficio Unitario (US\$)	0.43	0.43	0.43	0.43
Beneficio Anual Total (US\$)	225.75	180.60	135.45	90.30
<b>Relación Costo Beneficio</b>	<b>0.60</b>	<b>0.74</b>	<b>0.97</b>	<b>1.43</b>

Fuente: International Consulting Corporation.

A niveles del 30% de casos sospechosos positivos sigue siendo rentable los proyectos que buscan la reducción de fraudes, conexiones ilegales y mal funcionamiento de micro medidores.

**El valor sugerido como nivel aceptable de pérdidas es de 6.7%** el cual corresponde al valor medio del sistema de Bogotá, que es la única que reporta este valor desagregado. Este valor esta compuesto por:

1. Consumo legal No Facturable, 1.1% (Corresponde al 70% del consumo legal no facturado)
2. Error aceptable de micromedición, 2.9%.
3. Consumo Ilegal Disperso, 0.4%. (Corresponde al 0.5% del consumo clandestino total)
4. Fugas Internas no medibles, 2.3%. (Corresponde al 50% de la fuga interna total)

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para determinar el nivel de IANC aceptable regulatorio para las empresas, se suman los valores hallados de niveles de pérdidas técnicas y pérdidas comerciales calculados. La tabla siguiente resume los valores hallados de niveles máximos de pérdidas comerciales y técnicas, así como los valores de IANC admisibles.

La tabla siguiente resume las metas de IANC propuestas de mediano (2010) y largo plazo (2015). Dado que la reducción de pérdidas técnicas requiere inversiones en trabajos

de sectorización, control de presiones, etc., en los que tienen que incurrir las empresas para dar cumplimiento a las metas regulatorias.

Los NEPT de corto plazo (con las sobrecapacidades reales existentes de los sistemas) corresponderían a las metas a corto plazo, es decir al año 2010, los NEPT de largo plazo (con capacidades ajustadas a la demanda del mercado) corresponderían a las metas al año 2015.

Así las cosas los NEPT quedarían así:

**TABLA 5. MÁXIMAS PÉRDIDAS TÉCNICAS ACEPTABLES PARA LAS TARIFAS DE AGUA**

SISTEMA	PERDIDAS ACTUALES			METAS 2010			METAS 2015		
	Técnicas	Comerciales	IANC	Técnicas	Comerciales	IANC	Técnicas	Comerciales	IANC
<b>EMPRESAS MAYORES</b>	20.4	22.1	42.5	18.6	6.7	25.3	15.7	6.7	22.4
Bogotá	18.0	26.5	44.5	21.6	6.7	28.3	16.8	6.7	23.5
Medellín	18.8	5.8	24.6	24.8	6.7	31.5	17.1	6.7	23.8
Cali	20.4	21.0	41.4	18.9	6.7	25.5	18.0	6.7	22.7
Barranquilla	28.0	31.4	57.4	19.8	6.7	26.5	17.7	6.7	24.4
Bucaramanga	25.1	10.4	35.5	18.4	6.7	23.1	12.8	6.7	19.3
Cartagena	20.8	30.8	51.7	10.5	6.7	17.2	6.3	6.7	13.0
Cúcuta	21.5	36.3	57.8	21.8	6.7	28.3	20.3	6.7	27.0
<b>EMPRESAS MEDIANAS</b>	22.1	33.0	55.1	16.5	6.7	22.2	12.0	6.7	18.7
Ibal	22.8	41.8	64.4	14.8	6.7	21.3	12.0	6.7	18.7
Valledupar	17.4	23.3	40.7	20.3	6.7	27.0	13.9	6.7	20.6
Santa Marta	21.0	35.9	56.9	14.7	6.7	21.4	12.4	6.7	19.1
Sogamoso	42.5	4.6	47.1	17.2	6.7	23.9	12.9	6.7	19.6
Aguas Buga	18.0	39.6	57.8	11.3	6.7	18.0	6.8	6.7	13.5
<b>EMPRESAS MENORES</b>	20.6	25.3	45.9	13.5	6.7	20.2	9.8	6.7	16.5
Santander	34.9	12.1	47.0	19.8	6.7	26.5	16.5	6.7	23.4
Madrid	16.2	19.8	35.0	8.3	6.7	15.0	4.3	6.7	11.0
Aquaservicios	6.4	3.2	9.5	11.7	18.4	6.7	18.4	6.7	12.8
Acacias	20.0	32.0	52.0	14.7	6.7	20.7	14.0	6.7	20.7
Comunera	5.0	25.0	30.0	17.3	6.7	24.0	6.1	6.7	12.8
Sibate	6.0	23.9	29.9	10.3	6.7	17.0	10.3	6.7	17.0
Pto Carreño	16.9	21.9	38.8	9.8	6.7	16.5	9.8	6.7	16.5

Fuente: International Consulting Corporation.

- Para las ciudades con más de 600,000 habitantes, las metas de NEPT recomendadas para 2010 son de 18.6% y las metas de IANC para dicho año son de 25.3%. Para el año 2015 las correspondientes metas recomendadas para el NEPT e IANC son de 15.7% y 22.4% respectivamente.
- Para las ciudades con más de 12,000 habitantes y hasta 600,000 habitantes, las metas de NEPT recomendadas para 2010 son de 15.5% y las metas de IANC para dicho año son de 22.2%. Para el año 2015 las correspondientes metas recomendadas para el NEPT e IANC son de 12.0% y 18.7% respectivamente.
- Para las ciudades con 12,000 habitantes o menos, las metas de NEPT recomendadas para 2010 son de 13.5% y las metas de IANC para dicho año son de 20.2%. Para el año 2015 las correspondientes metas recomendadas para el NEPT e IANC son de 9.8% y 16.5% respectivamente.
- Cuando una sección de la red tiene niveles altos niveles de fugas, el método prioritario de reducción de pérdidas es mejorar el control de la presión, antes de pasar a una política activa de detección de fugas. Los resultados de los cálculos realizados, indican que esta prioridad aparece cuando las fugas son superiores a 25%, 21% y 17%, según la red corresponda a ciudades mayores, medianas o menores. Estos valores son también referenciales, ya que un análisis específico para las características de cada caso es el mejor camino para llegar a una correcta decisión.

## OBSERVACIONES PRESENTADAS POR ANDESCO

A continuación se presentan las principales observaciones extractadas tanto de las presentaciones efectuadas en el evento, como de las diferentes participaciones por parte de las empresas, y posteriormente se presentan algunos comentarios, a manera de conclusión sobre los mismos.

1. Se debe revisar la conveniencia de mantener el indicador de pérdidas tal y como está planteado en la actualidad. Este indicador ha sido revisado en otros países y se ha llegado a la conclusión que no es el indicado a la hora de medir el nivel eficiente de pérdidas de las empresas.
2. Se pueden establecer formas diferentes de medir el IANC, por ejemplo usando un nivel de pérdidas máximas en metros cúbicos, por usuario.
3. Existe un problema aun no solucionado con el tema de la micromedición, en particular con el tema de la acreditación de laboratorios de medidores. Lo anterior ha conllevado el no cumplimiento de la norma y la imposibilidad de las empresas de tener un programa de calibración de medidores.
4. Así mismo, traer medidores del exterior no sirve en la medida en que su certificación internacional no es válida en Colombia.
5. La conformación de los grupos planteada en el estudio de ICC no es adecuada, los grupos no son homogéneos y se debería revisar la conformación de los mismos y las bases conceptuales que sustentan tal agrupamiento.
6. Se hace necesario unificar la forma de medida del indicador en lo relacionado con las unidades de medida, las variables y parámetros a tener en cuenta, dado que cada agente dentro del mercado puede estar entendiendo y llevando de forma diferente la forma de su cálculo.
7. Es necesario que en el momento de definir el indicador se tenga en cuenta las condiciones “uniformes” de los prestadores, es decir la continuidad, presión, demanda de agua y oferta hídrica.
8. Así mismo es importante definir la periodicidad del indicador, por ejemplo **m<sup>3</sup>/mes/usuario**, o **m<sup>3</sup>/año/usuario**, etc.
9. Existen problemas en la medición en los macromedidores, por la calibración del mismo.
10. Se debe definir un cierto grado de certidumbre o incertidumbre (error) generado por posibles desviaciones a lo largo de la cadena de prestación del servicio.
11. No son posibles las comparaciones entre sistemas debido a las características intrínsecas de éstos; esto hace que los grupos definidos por la consultoría no correspondan a la realidad de los hechos de cada sistema y por tanto los resultados carecen de toda validez.
12. Es necesario que el regulador defina sobre qué nivel de pérdidas considera que la empresa puede gestionar, teniendo en cuenta que las pérdidas se pueden descomponer en inevitables, reporta-

- das y no reportadas; el regulador sólo debería considerar las dos últimas.
13. No toda la capacidad excedente es capacidad “ociosa”. Por ello es necesario que el regulador considere los factores de diseño definidos por la norma.
  14. Es necesario que el regulador revise los datos de entrada de la consultoría ICC, dado que en primer corresponden a precios de obra de 2001 y son de Estados Unidos, en todo caso ya hay datos más actualizados y de Colombia.
  15. Al parecer existe una norma (NTC 10) que define la presión mínima de redes en un 15%, la cual no fue tenida en cuenta en la consultoría.
  16. Se sugiere al regulador recoger información de pérdidas comerciales de las empresas, dado que ya muchas de ellas tienen este tipo de información.
  17. Aunque no es del resorte del regulador, se debe buscar la manera de crear las normas que permitan judicializar a los fraudulentos.
  18. El tema de la capacidad excedente debe ser visto como un problema de costo de racionamiento, en este sentido, no se debe castigar a la empresa por haber generado un proceso grande de inversiones en el pasado ya que ello ha permitido precisamente reducir la vulnerabilidad de los sistemas.
  19. Se debe tener en cuenta al momento de definir lo que se considerara como capacidad remanente la forma en que ese concepto se relacionara con el valor de los activos, ya que ello implicaría “hundir” algunos de estos activos, con el correspondiente peso financiero en las estructuras tarifarias de las empresas.
  20. Las medidas a adoptar por parte del regulador serán únicas en todo el país?, el regulador debe tener cuenta el caso de los sistemas pequeños que no cuentan con los recursos suficientes para generar programas de reducción de pérdidas de agua.
- Los ejes temáticos de las observaciones antes relacionadas son los siguientes: i) Unidad de medida, ii) Capacidad Excedente, iii) Conformación de Grupos homogéneos, iv) Micromedición.

## PROPUESTA PARA LA INCLUSIÓN DEL IANC EN EL NUEVO MARCO TARIFARIO

La inclusión del indicador de pérdidas de agua dentro de la fórmula tarifaria debe estar asociada en un todo con los otros componentes que hacen parte de la misma.

El valor de pérdidas fijado actualmente en un 30% no genera señales económicas eficientes en la medida en que subestima el poder de gestión de las empresas en el tema de pérdidas. En la medida en que regulatoriamente a lo largo de dos vigencias regulatorias se ha reconocido un nivel de pérdidas del 30% (y por tanto un nivel de costos por encima de aquel que puede considerarse de eficiencia, en el punto en el cual las empresas han efectuado una valoración efectiva del costo/beneficio de la reducción de las mismas), puede haberse generado un problema de riesgo moral en la medida en que las empresas pudieron “relajarse” en la adopción de medidas y programas relacionados con la reducción de pérdidas, dado que regulatoriamente ese valor se convertía en un paso directo a la tarifa.

El factor de pérdidas “óptimo” debe corresponder a aquel en el cual la empresa decide no moverse de ese punto, en la medida en que tal punto es una señal que le permite decidir que por debajo de él, su gestión en la reducción termina siendo más costosa para la empresa y para los usuarios.

Si la señal medio ambiental materializada en las tasas ambientales fuera la adecuada, los agentes económicos decidirán adoptar medidas que les permitan acercarse al punto en el cual los beneficios derivados de la adopción de programas de reducción de pérdidas compensan el esfuerzo por el ahorro del pago de la tasa ambiental. Lo anterior bajo la pre-

misión básica de que la empresa no puede efectuar un paso directo a la tarifa; es decir, existe una restricción regulatoria que impide que toda la pérdida sea paso directo a la tarifa. En este sentido, la señal regulatoria a incluir en el nuevo marco tarifario debe ser tal que:

1. Permita aplazar inversiones.
2. Promueva el uso racional del recurso.
3. Promueva la aplicación de programas de reducción de pérdidas.
4. Promueva la actualización y mantenimiento de catastro de usuarios y de redes.
5. Genere la señal económica para que los prestadores adopten las estrategias (comerciales, técnicas, operativas, etc.) que consideren pertinentes.

Los siguientes son los temas que se consideran pertinentes incluir en la discusión del tema del IANC dentro de la nueva fórmula tarifaria.

### 1. CAPACIDAD REMANENTE Y NIVEL DE PÉRDIDAS

Un primer elemento del tema del IANC es lo que el regulador debe considerar como Capacidad Excedentaria o Remanente, es decir, aquella capacidad del sistema que no es utilizada ( $\text{Oferta} > \text{Demanda}$ ).

El primer punto a tener en cuenta es el margen de seguridad de un sistema, entendido como el exceso de capacidad que tiene como función servir de soporte al sistema en caso de una situación de emergencia. En el caso del sector eléctrico, una primera fase de la regulación permitió el pago de capacidad excedente

en el sistema interconectado remunerando el mark up derivado de la construcción de plantas térmicas, las cuales dan sustento al sistema mediante el llamado “Cargo por Capacidad”. Como señal regulatoria el cargo por capacidad tiene como objetivo garantizarle a los inversionistas en este tipo de plantas que podrán cubrir el costo de las inversiones asociadas a la construcción, operación y mantenimiento, señal que no sería posible si al sistema sólo se le remunerara el costo marginal de corto plazo de generar energía, que como bien es sabido, es mucho mas bajo en plantas hídricas que en térmicas.

Entonces, como parte de la discusión acerca de la capacidad excedente, es necesario tener en cuenta que se debe analizar, desde una perspectiva netamente técnica, lo que el sistema permitirá remunerar como Margen de Seguridad y aquello que debe ser entendido como capacidad excedentaria.

## 2. GESTIÓN EN NUEVOS MERCADOS

De igual manera y relacionado con el tema de la capacidad excedentaria esta el tema de la gestión de las empresas en la búsqueda de nuevo mercados. Una forma racional económica de recuperar los costos asociados a una actividad económica es la expansión del servicio a mercados existentes, pero servidos por otros prestadores.

En este contexto una empresa que tenga capacidad excedentaria debería propender por buscar nuevos mercados en la medida en que esto represente amortizar más rápidamente las inversiones efectuadas en el pasado, así como el aprovechamiento de economías de escala.

De esta forma, una empresa que tenga capacidad excedentaria puede vender tales excedentes, entendidos éstos como las inversiones efectuadas en el pasado para dotar el servicio a sus usuarios actuales y que por razones exógenas a la misma, quedaron sin utilizarse, como puede ser el caso del efecto que las tarifas han tenido en el consumo de

los usuarios, los cuales han venido reduciendo progresivamente sus consumos ajustándose a las nuevas realidades de precios fijados por el regulador mediante las formulas tarifarias.

Así las cosas, la nueva regulación tarifaria debe prever que las empresas pueden entrar a nuevos mercados, y por tanto permitir que la formula tarifaria refleje el costo de cada actividad para hacer transparente el cargo que se cobraría por producir y transportar un metro cúbico de agua hasta un punto de un sistema.

La idea subyacente es evitar que se puedan generar subsidios entre municipios y/o empresas prestadoras del servicio de agua potable y que la empresa vendedora abuse de su posición de dominio frente a sus compradores. (Suministro de agua en bloque)

Así mismo, el precio del suministro de agua en bloque debe ser tal que genere la señal económica tanto al comprador como al vendedor de dejar de utilizar fuentes más costosas (pozos profundos, fuentes lejanas, etc.) por lo que el vendedor debería tener cierta flexibilidad en la venta de su “excedente” sin que ello conlleve una distorsión económica mayor en su mercado regulado.

Por tanto, se requiere una señal económica y ambiental ( $PVab < \text{Costo Agua Incumbente}$ ) regulatoria para la venta de “excedentes” de capacidad así como un conjunto de reglas básicas a través de las cuales se den las transacciones de compra-venta de capacidad excedentaria.

## 3. SEPARACIÓN DE ACTIVIDADES

En el ejercicio de fijación del nivel óptimo de pérdidas, se debe tener en cuenta tanto la naturaleza de las mismas como su ubicación dentro de toda la cadena de prestación del servicio.

Así las cosas, la división básica de la actividad de la prestación del servicio en upstream (Aduccion, potabilización y transporte) y downstream (distribución y comercialización) permite separar las pérdidas en dos grandes fases en

el proceso productivo. En el entendido en que el nivel de pérdidas óptimo está por debajo del nivel actual de pérdidas fijadas regulatoriamente<sup>7</sup> y de que el regulador permite y regula venta de excedentes de capacidad a otros mercados, las pérdidas se distribuyen en el punto de la cadena de la prestación en la que se encuentra el usuario o consumidor del servicio.

Por lo anterior un gran usuario que se encuentre conectado al upstream sólo debe percibir el nivel de pérdidas asociados a esa parte de la cadena<sup>8</sup>. En este contexto, los usuarios regulados de la empresa con capacidad excedente deberán cubrir el nivel de pérdidas correspondiente al downstream, que en ausencia de exigencias mayores de eficiencia para las empresas trasladarán todo el costo de las pérdidas a sus usuarios regulados. Por tanto se hace necesario que se planee exigir a las empresas sus valores desagregados de pérdidas mínimo por segmento (upstream y downstream) como una forma de regular el traslado de las mismas a los precios finales.

De aquí se deduce lo siguiente: la necesidad de regulación de la venta de capacidad excedentaria (o venta de agua en bloque, como se la ha llamado históricamente) debe ser vista no sólo como la creación de mercados “mayoristas” de agua potable sino como la necesidad de contar con unas reglas para permitir transacciones entre agentes, transacciones que a su vez permitirán vender la capacidad excedente de las empresas, lo que a su vez genera la señal económica eficiente a los prestadores de reducir sus niveles de pérdidas<sup>9</sup>.

#### 4. PÉRDIDAS COMERCIALES Y PÉRDIDAS TÉCNICAS

Adicional a la separación de las pérdidas en el upstream y el downstream, la separación entre pérdidas técnicas y comerciales es también necesaria no solo desde la óptica del regulador, sino desde la perspectiva de la empresa.

La gestión de las empresas en materia de pérdidas comerciales estará enfocada al mejoramiento de los ingresos de las mismas, por lo que se parte del supuesto de que una buen programa de pérdidas está en un todo asociado con una eficiente prestación del servicio, y por tanto las empresas que presenten niveles de pérdidas comerciales más bajas, deberán presentar mejores comportamientos en materia de indicadores de productividad.

Por tanto, una buena medida en materia de fijación del máximo de pérdidas comerciales es efectuar un ejercicio de eficiencia comparativa definiendo un punto mínimo de pérdidas derivado de la empresa que mejor comportamiento tenga.<sup>10</sup> El riesgo aquí es que se presente algún tipo de “colusión” a la hora de entrega de los datos de las empresas.

#### 5. ZONAS SUBNORMALES Y DE DIFÍCIL GESTIÓN

Con respecto a la división de las pérdidas en comerciales y técnicas es pertinente tener en cuenta que en muchos casos las primeras no son reconocidas debido a que se supone hacen parte de la eficiente gestión comercial de la empresa. Sin embargo existen ciertas condiciones legales creadas de mane-

7 Independientemente de la discusión acerca de que el indicador sea o no el adecuado para medir lo que se quiere medir, y que en muchas partes del mundo, se han efectuado estudios que demuestran que este indicador no es el adecuado.

8 Las cuales en su mayoría deberían corresponder a pérdidas técnicas.

9 En sistemas con gran capacidad excedentaria, el costo de mantener altos niveles de pérdidas puede ser muy bajo, dado que el costo de las pérdidas corresponderá a marginal de corto plazo (es decir, gastos de operación del sistema, químicos, bombeo, etc.), mientras que para sistemas con una capacidad cercana a su demanda de agua, el costo de las pérdidas puede ser alto en la medida en que corresponde al costo incremental (evitado) de largo plazo.

10 La premisa aquí es que el nivel de pérdidas comerciales no depende de particularidades del sistema, sino de la gestión misma de la empresa, la cual siempre será comparable.

ra exógena a la empresa que pueden influir en el tema de las pérdidas tanto comerciales como técnicas. Es el caso de las llamadas zonas subnormales y de difícil recaudo sobre las cuales no existe aún regulación específica en cuanto al manejo tarifario de las mismas.

Por tanto, el nivel eficiente de pérdidas fijadas por el regulador debe considerar que existen zonas sobre las cuales las empresas tienen baja capacidad de gestión, y por tanto no pueden ser castigadas por un elevado nivel de las mismas.

No obstante lo anterior, esto permite concluir que la sectorización de los sistemas es la base sobre la cual se cimienta una buena política de reducción de pérdidas. Aunque aún siendo ésta una medida que debería ser de libre adopción por parte de las empresas, el regulador puede imponer señales que deriven a que los sistemas tengan implementada la sectorización de los sistemas hasta el punto en el cual las primeras tengan la posibilidad de establecer aquellas zonas pertenecientes a la categoría de subnormal, sobre las cuales es posible, dadas las consideraciones normativas sobre este tipo de zonas, se pueda tener niveles de pérdidas por encima del nivel regulatorio fijado.

Así las cosas, los niveles de pérdidas técnicas y comerciales que adopten las empresas deben tener en cuenta no solo la valoración económica de las mismas, sino aspectos exógenos a la misma, como lo es el caso de las zonas subnormales y de difícil gestión.

## 6. NIVEL DE PÉRDIDAS, NIVEL DE INVERSIONES Y BASE DE ACTIVOS

El nivel de pérdidas está en un todo relacionado con el nivel de inversiones que el regulador considere como “eficientes”. Por tanto, la base de activos regulatoria (el VA) y las inversiones proyectadas deben estar asociados a un nivel de pérdidas que el regulador ha determinado como óptimo.

Sistemas que cuentan con capacidad excedentaria y que no buscan nuevos mercados para la misma deben contar con una señal regulatoria más fuerte que limite el paso directo del costo incremental asociado al nivel actual de pérdidas. Así las cosas, la empresa deberá decidir si genera un programa de reducción de pérdidas y/o si busca nuevos mercados para sus excedentes de capacidad, dado que no es posible pensar en que el regulador deba permitir el traslado de costos incrementales (evitados) elevados causados por una deficiente gestión en materia de pérdidas.

Por tanto se hace necesario definir lo que se ha de considerar como inversiones eficientes, y su forma de inclusión dentro de las tarifas, porque no tendría ningún sentido establecer señales en materia de pérdidas cuando se deja “libre” el nivel de inversiones y la base de activos a ser trasladada a las tarifas.

## COSTO DE CAPITAL<sup>1</sup>

**Julio César Aguilera Wilches. Asesor CRA.**

### RESUMEN

La remuneración de las inversiones es un aspecto esencial de todo esquema tarifario. Esta remuneración debe permitir cubrir el costo de oportunidad de las principales fuentes de financiación de las inversiones, sin perder de vista que debe ser justa. Para ello es importante tener en cuenta que una empresa eficiente buscará aprovechar las ventajas tributarias del uso de la deuda dentro de la estructura de capital. Por lo tanto, a una empresa se le puede medir parte de su eficiencia en el uso de deuda como forma de reducir el costo de capital. El sector de acueducto y alcantarillado tiene unas condiciones en el contexto de los servicios públicos domiciliarios que lo hacen diferente a los demás. En la medida en que una actividad se acerca más a condiciones competitivas los riesgos por el inversionista son más altos y la remuneración que espera para cubrir su costo de oportunidad es más alta, lo cual se refleja en un costo de patrimonio más elevado.

**Palabras Clave: Costo de capital, riesgo, acueducto y alcantarillado.**

---

*1 Las opiniones del autor se hacen a título personal y no comprometen en nada la posición institucional de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.*

## I. INTRODUCCIÓN

El costo del capital de una empresa regulada representa el costo de oportunidad de los recursos con los que las empresas financian sus inversiones, siendo las dos fuentes principales la deuda y el patrimonio.

Desde la perspectiva del regulador, el costo de capital debe permitir a las empresas un “retorno justo” sobre las inversiones que se ejecuten. Este retorno justo, es un resultado de la interacción entre un conjunto de variables, algunas se determinan de forma exógena a la empresa y otras son el resultado de la relación entre la empresa y el mercado en el cual opera.

El costo de capital presenta una relación marcada con los restantes componentes de la fórmula tarifaria, en particular con la inclusión o no de parámetros de eficiencia, la definición de los niveles óptimos de pérdidas y su recuperación por vía de tarifas, la definición de los niveles aceptables de riesgo comercial, los niveles de costos de administración, operación y mantenimiento, la tasa efectiva de tributación

y su reconocimiento por vía de flujo de caja o por vía de costo del capital, entre otros.

El cálculo del costo del capital se constituye en uno de los pilares fundamentales dentro de las fórmulas tarifarias, dado que genera las señales de corto, mediano y largo plazo para que las empresas efectúen las inversiones necesarias para garantizar a la población la prestación del servicio.

El presente documento tiene como finalidad presentar a consideración de los agentes y terceros la base metodológica mediante la cual la CRA calculará el costo de capital de las empresas de acueducto y alcantarillado en el contexto de la definición de la nueva fórmula tarifaria para el período 2009-2014.

En este contexto se revisan los antecedentes regulatorios del Costo del Capital definidos en la Resolución 312 de 2005, teniendo en cuenta para ello el estudio del consultor Javier Serrano y otros documentos relacionados.

## 2. ELEMENTOS CONCEPTUALES DEL COSTO DEL CAPITAL

Como es bien sabido, el costo de capital es sensible a las fluctuaciones de algunas variables macroeconómicas, por lo que para definir su valor puede ser igual de importante revisar la conveniencia de que este fluctúe con los movimientos de dichas variables. Aunque en algunas se ha presentado una relativa estabilidad que permitiría inferir que no sería necesaria su modificación en el corto y mediano plazo, otras han sido más volátiles (tasa de cambio) que afectan el costo de la deuda financiada en el exterior y el costo del capital propio de las empresas de todos los sectores de la economía.

En el momento de actualización del presente documento se presentan posibilidades de estancamiento en Estados Unidos, que en términos sencillos consiste en la desaceleración del crecimiento de la economía (incluso a niveles negativos) en presencia de inflación creciente. La probabilidad de desaceleración de la economía de Estados Unidos genera impactos en las bolsas de todo el mundo debido a las expectativas negativas que los inversionistas se hacen de las demandas futuras de bienes o servicios de la economía americana.

Los índices de las principales bolsas de valores del mundo (Nueva York, Londres, Tokio y en América Latina Chile, México, Argentina y Brasil) caen por efecto de la reducción de las transacciones y de la rentabilidad esperada de las acciones de las empresas. En resumen, la rentabilidad de las inversiones en acciones está cayendo y los mercados de valores muestran una tendencia a la baja de los principales índices que en el corto plazo significan una reducción de las expectativas de retorno sobre el capital propio (Equity).

No obstante lo anterior, los mercados de valores aunque presenten este tipo de esce-

narios en el corto y mediano plazo, presentan históricamente recuperación que vuelve a enviar señales al mercado de crecimiento económico y por tanto de recuperación de la rentabilidad de los retornos de los accionistas. Por lo anterior se pretende efectuar una revisión de la conveniencia de fijar un costo de capital ajustable, en forma directa o indirecta, en el período de vigencia de la fórmula tarifaria.

En todo caso, es pertinente aclarar que la fijación del valor del costo de capital debe estar relacionada con la señal que el regulador determine en el tema de inversiones (pasadas y futuras): si el regulador decide imponer criterios de eficiencia en las inversiones, esto tiene un efecto en el costo de capital regulatorio, así como la definición de un escenario diferente en materia de pérdidas de agua, razón por la cual, el valor regulatorio que se determine inicialmente debe ser revisado a la luz de las principales conclusiones en materia de pérdidas de agua, nivel de las inversiones y establecimiento de factores de eficiencia, etc.

Las decisiones que el regulador adopta buscando mayores exigencias en eficiencia y que abarcan las inversiones y los costos AOM, se reflejan en una mayor nivel de riesgo que es percibido por la empresa, y que buscará trasladar a la tasa de retorno regulatoria. Así mismo, la metodología y periodicidad de la revisión de las pérdidas de agua potable, influye en el costo del capital: la obligatoriedad de reducción de las pérdidas comerciales, por ejemplo, puede mejorar la gestión comercial de las empresas y reducir el riesgo, a su vez una política de reducción de pérdidas puede incrementar los costos operativos derivados de su implementación, lo cual puede aumentar la percepción de riesgo y aumentar el costo del capital.

### 3. EL COSTO DEL CAPITAL DE EMPRESAS REGULADAS

El Artículo 87 de la Ley 142 de 1994 define los siguientes criterios para determinar las tarifas que se aplican a las actividades bajo el régimen de precios regulados: eficiencia económica, neutralidad, solidaridad, redistribución, suficiencia financiera, simplicidad y transparencia. Establece el artículo en mención, lo siguiente:

*“Artículo 87.4. Por suficiencia financiera se entiende que las fórmulas de tarifas garantizarán la recuperación de los costos y gastos propios de operación, incluyendo la expansión, la reposición y el mantenimiento; **permitirán remunerar el patrimonio de los accionistas de la misma forma en la que lo habría remunerado una empresa eficiente en un sector de riesgo comparable**; y permitirán utilizar las tecnologías y sistemas administrativos que garanticen la mejor calidad, continuidad y seguridad a sus usuarios”. (negrilla fuera de texto)*

Entonces, el costo de capital es una variable regulatoria que permite remunerar el patrimonio de los accionistas, la cual está sujeta a que la empresa actúe de manera eficiente en su mercado.

Es pertinente detenerse y revisar con un mayor detenimiento lo definido en este artículo. La frase **“permitirán remunerar el patrimonio de los accionistas”** busca garantizar que por vía del costo de capital el regulador establezca el valor que permite cubrir el costo de oportunidad de los recursos aportados por los accionistas o quien sea que ejerza la calidad de “dueño” de la empresa. Adicionalmente al ser el costo del capital una combinación de varias fuentes de recursos para financiar las expansio-

nes, por vía del costo del capital se reconoce el costo de oportunidad de esas otras fuentes.

Entonces, el costo de capital fijado por el regulador permite que la empresa pueda cubrir el costo de las principales fuentes de financiación: i) Deuda, ii) Aportaciones Patrimoniales. El regulador determina un costo del capital que considera que permite remunerar los anteriores elementos, pero no puede garantizar que este costo del capital siempre se logre, dado que ello dependerá, como es lógico del desempeño operativo, técnico, administrativo, comercial, y financiero de la empresa. Visto desde otra perspectiva, el costo del capital que determina el regulador se constituye en la **mínima TIR** que debe lograr la empresa para garantizar la recuperación del costo de las fuentes con las que se financia el capital.

Ahora, con respecto a la frase **“(…) de la misma forma en la que lo habría remunerado una empresa eficiente en un sector de riesgo comparable”**, esta tiene dos componentes. La primera hace referencia a que la empresa debe actuar de forma eficiente y la eficiencia es el uso óptimo de insumos para producir un producto, que desde la perspectiva microeconómica podría resumirse como una empresa que minimiza el costo sujeta a un conjunto de restricciones.

Supone la teoría que la eficiencia total (asignativa y productiva) se da en aquellos mercados en los cuales operan de manera perfecta el libre juego de la oferta y la demanda. Dado que estamos en mercados en los que existen distorsiones que los alejan en mayor

o menor medida de los supuestos básicos del óptimo (entendido, para este efecto como mercados competitivos) el regulador establece un retorno que cumpla las condiciones de eficiencia que se exige debe tener los precios regulados, incluyendo el costo del capital.

La segunda parte de la frase bajo estudio establece que el costo del capital fijado debe remunerar la inversión como se remuneraría en un sector de riesgo comparable. La pregunta que surge es ¿Qué sectores se consideran de riesgo comparable a los de acueducto y alcantarillado?.

Debe tenerse en cuenta, inicialmente, que el sector de acueducto y alcantarillado tiene unas condiciones bajo el conjunto de los servicios públicos domiciliarios que lo hacen diferente a éstos. Por ejemplo, el sector de energía eléctrica en los componentes de comercialización y generación aun siendo mercados regulados, presentan características competitivas que lo hacen distinto a las otras actividades inmersas en la prestación de este servicio (transmisión y distribución). Esto hace que el “riesgo” por la prestación de estas actividades se perciba mayor a las actividades que por su naturaleza económica y tecnológica presentan condiciones de monopolio natural. En la medida en que una actividad se acerca más a condiciones competitivas los riesgos percibidos por el inversionista o los prestamistas son más altos y la remuneración que espera para cubrir su costo de oportunidad es más alto, lo cual se refleja en un costo de patrimonio (equity) y/o un costo de deuda más alto.

Para el caso del sector de telecomunicaciones, las condiciones han variado de manera significativa en la última década. El proceso de convergencia tecnológica, que implica que por una misma red se pueden enviar varios servicios (altas economías de alcance) aunado a la expansión del servicio de telefonía móvil, a tal punto que al día de hoy el crecimiento anual de los nuevos afiliados a la telefonía móvil es más

grande que las conexiones a la telefonía pública básica conmutada local, hace que las empresas de este último segmento se vean abocadas cada vez a mayores niveles de competencia y por tanto a mayores niveles de percepción del riesgo. Esta mayor percepción de riesgo se puede materializar en un mayor costo del capital.

Así mismo, las entidades financieras que potencialmente pueden apalancar a los operadores perciben un riesgo más alto en un sector o actividad que está expuesta a niveles más altos de competencia, por lo que ésta mayor percepción de riesgo se debe traducir, ceteris paribus otras condiciones internas de cada empresa (esto es, bajo el supuesto que todas operan bajo un mismo nivel de eficiencia económica) en un mayor costo del dinero. La combinación de estos factores incrementa el costo del capital de empresas en sectores expuestos a mayores niveles de competencia (sin tener en cuenta el efecto tributario de la deuda en el costo del capital, a través del llamado escudo fiscal).

La eficiencia en el componente del costo del capital está asociada a lo que se considerará como eficiencia en los otros elementos que hacen parte de la fórmula tarifaria. El costo del capital “absorbe” los riesgos asociados tanto al desenvolvimiento operativo de la empresa como los riesgos sistémicos de la economía. En este contexto, la empresa incluye en su valoración de su costo de capital todos los tipos de riesgo los cuales se trasladan a las tarifas de sus usuarios. Por tanto, el impacto de las mayores exigencias de eficiencia en el costo del capital es asumido por los usuarios del servicio sin que exista restricción al componente del capital.

La cantidad de recursos que una empresa utiliza para invertir es función del retorno marginal que obtiene por éstas, en la medida en que el retorno marginal supere el costo del capital fijado por el regulador, la empresa construye valor a partir del parámetro regulatorio. De lo contrario, siendo la inversión un “compromiso” que se deriva del contrato regulatorio implícito

en la fórmula tarifaria, la empresa destruirá valor en la medida en que el retorno marginal sea menor al costo de capital regulatorio. En otras palabras, siendo una obligación de la empresa la ejecución de las inversiones inmersas en el plan de inversiones que incluye en las tarifas, las empresas eficientes buscarán construir valor a partir del costo del capital regulatorio.

En este contexto, el regulador considera que la eficiencia en el componente del costo de capital está asociada al uso óptimo de sus principales componentes, deuda y patrimonio. Una empresa eficiente debe tener una estructura de capital que permita aprovechar las ventajas que tiene el uso de deuda por la exención tributaria sobre los intereses, así mismo debe retribuir el patrimonio de los accionistas, lo cual necesariamente implica que independientemente de la naturaleza de los fondos de financiación del patrimonio (aportes, acciones, o fondos públicos en el caso de empresas públicas y municipios prestadores) deben cubrir el costo de oportunidad de tales recursos. La empresa en su autonomía, decidirá en qué utiliza las utilidades de su negocio, si los reinvierte o si los devuelve a sus accionistas.

En resumen, se tiene lo siguiente:

- El costo del capital fijado regulatoriamente debe reconocer el costo de oportunidad de las fuentes de financiación de las inversiones.
- El costo del capital en actividades que están sometidas a un mayor nivel de competencia es más alto por el riesgo percibido que es trasladado a las fuentes de financiación de las inversiones: Deuda y Patrimonio.
- A su vez, si una actividad es un monopolio natural y la técnica regulatoria utilizada permite recuperar los demás costos de las empresas como un pass through (paso directo que significa que el costo de la empresa se traslada directamente a la tarifa, sin alguna “depuración” regula-

ria) implica que a la empresa se le asegure un flujo de ingresos que por vía de tarifas le permite cubrir sus costos de administración, operación y mantenimiento, y por lo tanto, de la buena gestión de ésta dependerá la recuperación del costo de oportunidad de los recursos que permiten la financiación de las inversiones, por lo que el costo del capital debería ser más bajo que una empresa en la que la evolución de sus tarifas depende no sólo de su comportamiento propio en materia de costos, sino del comportamiento de las demás empresas reguladas, como es el caso de algunos tipos de regulación por comparación (yardstick competition).

- No obstante lo anterior, el costo del capital de una empresa monopólica sometida a una regulación por comparación aunque puede ser mayor a una empresa monopólica regulada por tasa de retorno, debe ser más baja a una empresa no monopólica regulada, sometida a un cierto nivel de competencia.
- Es importante resaltar que el costo del capital que fija el regulador para efectos tarifarios puede ser el diferente al retorno esperado por parte de los inversionistas. En este sentido, el costo del capital regulatoriamente fijado se constituye en la mínima TIR que debe alcanzar la empresa para garantizar el retorno justo a las inversiones. Una empresa puede adoptar medidas en eficiencia que hagan que su TIR sea mayor al costo del capital fijado por el regulador, y así generar valor agregado a sus inversiones (este es el concepto implícito en el EVA).
- El indicador Retorno sobre Patrimonio (ROE, por sus siglas en inglés), es una buena medida para establecer el grado de construcción o destrucción de valor de una empresa. Si el  $ROE > WACC$ , el inversionista alcanza una rentabilidad igual

o mayor que la esperada al momento de calcular el rendimiento de su inversión (sea vía dividendos o vía capitalización); Si el  $ROE = WACC$ , el inversionista recoge una rentabilidad más baja que la esperada pero de todas maneras igual al  $WACC$ , lo que permite que sus expectativas de rendimiento no se ven afectadas por la ineficiencia de la empresa o el exceso de costos de AOM; y si  $ROE < WACC$ , el inversionista ve que su patrimonio pierde valor frente a lo que ganaría en otros ne-

gocios de riesgo semejante o menor, razón por la cual hay una destrucción de valor sobre el patrimonio del inversionista.

- La eficiencia en el costo del capital desde la óptica regulatoria es el resultado de una óptima estructura de capital la cual debe permitir construir valor a partir de la señal regulatoria mínima establecida por el regulador en el costo del capital de la industria.

## 4. VARIABLES PARA EL CÁLCULO DEL COSTO DEL CAPITAL

Inicialmente es pertinente tener en cuenta que para efectos del cálculo del costo del capital se tendrá en cuenta los dos componentes de mayor uso para financiar inversiones: Deuda y Patrimonio (Equity).

La metodología de más amplio uso para el cálculo del costo del capital es el Promedio

Ponderado del Costo del Capital (WACC, por sus siglas en inglés), el cual es una herramienta que permite ponderar la participación (estructura del capital) de las fuentes y sus correspondientes costos en una sola ecuación que permite hallar el costo del capital total de la empresa regulada.

De una manera sencilla, el promedio ponderado del costo del capital se calcula de la siguiente manera:

$$WACC = Pd * Kd + Pe * Ke \quad (1)$$

Donde:

$Pd$ = Porcentaje de las inversiones financiadas con deuda.

$Kd$ = Costo de la deuda.

$Pe$ = Porcentaje de las inversiones financiadas con capital propio (equity).

$Ke$ = Costo del capital propio.

La anterior ecuación no tiene en cuenta el efecto en los impuestos por efecto de la financiación con deuda (escudo fiscal). Entonces el WACC de la ecuación 1 es un costo de capital **antes de impuestos**.

Teniendo en cuenta el efecto de los impuestos y partiendo de que regulatoriamente estos se reconocen por vía del costo del capital y no como flujo de ingresos por vía de otros costos, el costo del capital **después de impuestos** quedaría así:

$$WACC = Pd * Kd(1 - t) + Pe * Ke \quad (2)$$

Donde  $t$  es la tasa nominal de tributación, que para el caso de Colombia se encuentra en 34% (impuesto de renta). El costo de capital

debe calcularse después de impuestos dado que las empresas están sometidas al régimen tributario general para otras industrias.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Recuérdese que para el caso de las empresas de servicios públicos, hasta el momento de la expedición de la ley 633 de 2000, las empresas tuvieron exención tributaria, incluyendo los años 2001 y 2002 (80% de exención), por lo que a partir del año 2003, las empresas tienen una tributación igual a las de otras empresas en otros sectores.

## 5. DETERMINANTES DEL COSTO DEL CAPITAL PROPIO

La metodología de más amplio uso para el cálculo del costo del capital propio o equity, es la denominada Capital Asset Pricing Model (CAPM). Esta metodología establece que el costo del patrimonio (equity) es

igual al retorno de un activo libre de riesgo, más una prima de riesgo relacionada con el sector de desempeño de la empresa.

Entonces, el costo del equity sería igual a lo siguiente:

$$K_e = R_f + Pr \quad (3)$$

Donde:

$R_f$  = Es el retorno de un activo libre de riesgo.

$Pr$  = Prima de riesgo.

El activo libre de riesgo que se toma como referencia son los bonos de deuda soberanos, para el caso de Colombia los denominados TES. Su inclusión en el  $K_e$  se explica porque lo mínimo que un inversionista exigiría para invertir en un negocio es lo que retribuiría el activo financiero más libre de riesgo en una economía, el cual corresponde a los títulos que emite la Nación.

Otro tema relevante es el tiempo de maduración (tiempo en que se hace efectiva la obligación de su pago) de estos títulos y su relación con la fijación del costo de capital de una industria. Por lo general, se debe tomar una ma-

duración igual al tiempo de recuperación efectiva de las inversiones. Dado que las inversiones en acueducto y alcantarillado se recuperan en promedio en un tiempo relativamente prolongado (20 a 30 años), para efecto del cálculo del costo del capital se toman maduraciones iguales al promedio de recuperación de las inversiones en el sector bajo objeto de estudio.<sup>3</sup>

En general se considera que las inversiones en sectores de servicios públicos regulados son de largo plazo y por tanto los plazos de maduración para el cálculo del costo del capital deben corresponder a un periodo similar. Debe tener-

<sup>3</sup> Por esta razón se usan bonos de a 33 años. Adicionalmente, el uso de una serie histórica de largo plazo suaviza los posibles efectos sobre la valoración del capital por efecto de fenómenos macroeconómicos (internos y externos) coyunturales. Tal es el caso de la crisis financiera de finales de la década de 1990 o el posible proceso de desaceleración de la economía de EU, y las decisiones de la Reserva Federal de disminuir sus tasas, con el fin de irrigar mayor cantidad de recursos a la economía con el fin de minimizar el efecto de los problemas del sector financiero derivados de una mala creación de productos financieros sustentados en deudas hipotecarias de alta probabilidad de default.

se en cuenta que los bonos de más corto plazo, por lo menos en teoría, presentan valores más altos por volatilidades asociadas al desempeño

de variables macroeconómicas como es el caso de la tasa de interés y la tasa de cambio.

### Prima de Riesgo

El componente denominado prima de riesgo se puede descomponer de la siguiente manera:

$$Pr = \beta(Rm - Rf) \quad (4)$$

Donde:

**Beta:** Representa una medida de la variación de la rentabilidad de la empresa con respecto a la rentabilidad del mercado. La definición real del Beta es la covarianza entre la rentabilidad del mercado y la rentabilidad del sector con respecto a la economía en general, dividido por la varianza del mercado.

Para el cálculo del Beta se debe tener en cuenta dos tipos de riesgos: i) **Riesgo Operativo:** el cual está relacionado directamente con el negocio con la eficiencia en costos y en el desarrollo y evolución de las empresas en el sector, ii) **Riesgo Financiero:** Derivado de la participación de la deuda en la estructura del capital.

El Beta total contiene el efecto de los dos tipos de riesgo y se le denomina **beta apalancado**. El **beta no apalancado** mide ries-

go operativo, por lo tanto no tiene en cuenta el efecto del nivel de endeudamiento en el cálculo del costo de capital. De acuerdo con Serrano (2004) “el beta apalancado comprende los riesgos operativo y financiero y sería equivalente a analizar el flujo de caja residual para el accionista o flujo de caja para el equity o aportación patrimonial, que ya tiene en cuenta el efecto del apalancamiento financiero sobre los impuestos, esto es las ventajas del escudo fiscal.” “(...) Los betas se calculan para una estructura dada de capital, ya que usualmente se estiman a partir de los resultados de una regresión lineal entre la rentabilidad del mercado y la rentabilidad de la empresa para una serie de datos histórica. Por ello cuando se utilicen betas calculados por entidades especializadas, hay que tener en cuenta la siguiente relación entre el beta no apalancado, que mide el riesgo operativo y el beta apalancado que mide el riesgo total (operativo y financiero), para una estructura dada de capital”:<sup>4</sup>

$$\beta^A = \beta^{NA} * [1 + (1 - t) * deuda / patrimonio] \quad (5)$$

Un Beta igual a 1 representa que la empresa tiene el mismo nivel de riesgo que el mercado en general, tomado este último como el retorno promedio de un portafolio de inversiones en activos financieros. Un Beta menor que uno indica que la empresa presenta un nivel de riesgo menor al del mercado, y un Beta mayor que uno, el caso contrario.

### Retorno de mercado (Rm):

Corresponde al retorno promedio de un portafolio de inversiones en el mercado, que para el caso Colombiano correspondería al promedio de retorno en el mercado accionario en la bolsa de Colombia.

<sup>4</sup> Serrano Rodríguez, Javier. Informe final Metodología y estimación del costo promedio ponderado de capital (WACC), para empresas de acueducto y alcantarillado. Departamento Nación del Planeación. Mayo 31 de 2004.

Debe tenerse en cuenta que en un mundo globalizado en el cual existe libertad para mover recursos financieros de un país a otro con cierta flexibilidad, exige que deban utilizarse como referencia para la estimación de las variables, mercados de activos financieros maduros.

Lo anterior hace que para el caso del cálculo del costo del capital de una industria en Colombia se debe considerar el riesgo asociado al país, el cual corresponde a la diferencia entre el rendimiento de los papeles de deuda de Colombia con los papeles de deuda de un mercado de referencia, para lo cual se toma el mercado accionario de Estados Unidos.

El índice S&P 500 que refleja el retorno promedio de las 500 empresas más grandes, se toma como referencia para hallar el retorno de mercado.

**Riesgo País:** Tradicionalmente se mide como la diferencia entre los bonos de deuda soberanos del tesoro de Estados Unidos (que correspondería al activo libre de riesgo) y los bonos de deuda soberana de Colombia.

En términos sencillos, el riesgo país representa la prima de riesgo por invertir en economías emergentes con factores sociales, políticos, económicos, culturales, etc, que influyen en la percepción de riesgo de un potencial inversionista, lo cual eleva el valor del retorno esperado por éstos últimos.

## 6. DETERMINANTES DEL COSTO DE LA DEUDA

En primer lugar es pertinente tener en cuenta que el costo de la deuda es la tasa de interés que se cobra a las empresas por los recursos entregados para apalancar sus inversiones.

Entonces la tasa de interés representa el costo de oportunidad del dinero. La tasa de interés tiene un componente que permite recuperar el costo del dinero en el tiempo así y un componente de valoración de riesgo del negocio a financiar. A su vez, ésta representa dos tipos de riesgos: el riesgo propio del negocio, y el riesgo particular de la empresa que se financia. A mayor riesgo, mayor diferencial sobre la tasa base de interés (por lo general se toma la DTF, que refleja el costo de oportunidad del dinero a 90 días).

Para efectos regulatorios y tarifarios, el costo de la deuda se toma considerando su costo medio (o costo histórico), el cual reconoce el costo de los fondos de mediano y largo plazo al cual ha accedido la empresa, lo cual permite disminuir el riesgo en la medida en que se está teniendo en cuenta el comportamiento histórico de la empresa (embebido cost) recogido en la tasa de interés de largo plazo. El posible problema en su utilización radica en que esta tasa histórica puede estar recogiendo un mal comportamiento financiero en el pasado de la empresa el cual sería trasladado a los usuarios del servicio.<sup>5</sup>

*5 La alternativa regulatoria para el componente de deuda es el uso de un costo de endeudamiento marginal el cual presenta como ventaja que incentiva las inversiones en la medida en que se esté recogiendo el valor de las nuevas deudas, independientemente de su costo histórico; sin embargo presenta como desventaja que es un passthrough a la tarifa del usuario final, que puede ser perverso en el medida en que este costo esté por encima del costo medio histórico de la deuda.*

## 7. ESTRUCTURA TARIFARIA Y COSTO DEL CAPITAL

sí mismo, la estructura de la tarifa influye de manera determinante en la fijación del costo del capital. Una estructura tarifaria que conste de un cargo por consumo, sin cargo fijo, incrementa el costo del capital en la medida en que la única forma de recuperar costos por parte de las empresas es por la vía de los consumos. En teoría, un cargo fijo debería permitir recuperar el costo de las inversiones, incluyendo la remuneración del capital;

sin embargo la estructura vigente recupera los costos fijos de clientela a través del cargo fijo, buscando asegurar, precisamente, que por la vía de un cargo fijo con elasticidad cero, las empresas recuperen sus costos administrativos. Por tanto, en la medida en que la decisión regulatoria sea la de permitir únicamente un cargo por unidad de consumo, esto debe verse reflejado en el costo del capital, aunque es cierto que esto es muy difícil de cuantificar.

## 8. ESTRUCTURA DEL CAPITAL Y COSTO DEL CAPITAL

La estructura del capital hace referencia a las fuentes de financiamiento de mediano y largo plazo que utiliza la empresa para su labor. Como se sabe, las principales fuentes de financiamiento de una empresa son deuda y patrimonio. La primera al tener prioridad en caso de quiebra tiene un menor riesgo que la segunda y por tanto esta última debe tener un mayor valor (mayor costo de oportunidad).

El uso de la deuda sobre el del capital propio presenta ventajas tributarias en la medida en que los intereses pagados permiten descuento sobre el impuesto de renta. Esta ventaja impositiva se le denomina comúnmente Escudo Fiscal.

Sin embargo la ventaja del Escudo Fiscal es limitada hasta un punto de deuda a partir del cual aparece el denominado estrés financiero que básicamente consiste en un mayor riesgo derivado de la mayor proporción del endeudamiento en la financiación de la empresa.

Para el caso de algunos proyectos financiados por el Gobierno Nacional a través del mecanismo de la ventanilla única reglamentada en la resolución 1550 de 2005 y del uso de la Tasa Compensada reglamentada en el Decreto 280 de 2006, las empresas prestadoras de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, localizadas en los municipios con población inferior a un millón (1.000.000) de habitantes y las entidades territoriales que adelanten los mismos proyectos en municipios con población inferior a la mencionada, durante la vigencia en la que se solicite la operación de redescuento pueden acceder a **financiación “subsidiada”** por el Gobierno Nacional, ya que el diferencial entre

DTF base del crédito y la tasa comercial es cubierta con recursos del Gobierno Nacional.

Adicionalmente es importante tener en cuenta que algunas empresas y en particular municipios prestadores directos del servicio a los cuales se puede concluir sin necesidad de mucho análisis financiero que no construyen valor, es más ni siquiera cubren los costos de operación, por lo que su gestión financiera no permite recuperar el costo del capital. Estos municipios se caracterizan por que los recursos para operar dependen en un gran porcentaje del presupuesto del municipio por vía de SGP o por otras fuentes.

En este caso cabe preguntarse desde un punto de vista netamente financiero si entidades bajo esas circunstancias deberían calcular sus costos con tasas de descuento (o costos del capital) siquiera cercanos a los que se calcula para operadores que se financian con tarifas, capital propio y endeudamiento con banca nacional, multilateral y comercial.

En tal sentido, para muchos municipios y prestadores de cierto tamaño no les es posible acceder a financiación por endeudamiento, y que dependen directamente de recursos propios para financiar expansiones e incluso para poder prestar un servicio en malas condiciones de calidad ya que su nivel de recaudo es muy bajo.

Por lo anterior, se considera que el costo promedio ponderado del capital debe permanecer estable durante el periodo de vigencia de una fórmula tarifaria, sin perjuicio de que en uso de las atribuciones legales y en los casos especiales que define la Ley 142 de 1994, decida revisarla.

## 9. CALCULO DEL COSTO DE CAPITAL

A continuación se presentan los principales elementos del cálculo del costo del capital y las fuentes para el mismo.

### 9.1. COSTO DE DEUDA

#### Tasas de Interés Bancaria y Tasa Impositiva

La siguiente es la relación de las tasas de interés a partir de enero de 2005 hasta octubre de 2007, las cuales fueron obtenidas como el promedio aritmético de tasas de los 16 bancos más importantes en Colombia, para cada una de las modalidades de crédito. Se obtienen desde 2005 debido a que fue el último año de cálculo de la CRA. Estas tasas son nominales.

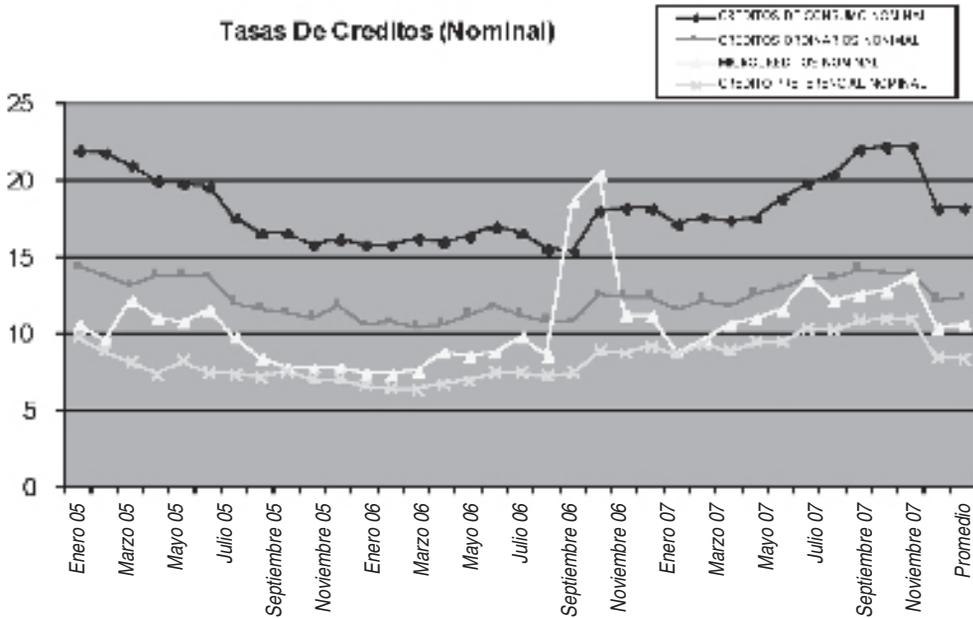
**TABLA I. PROMEDIO ARITMÉTICO DE LAS TASAS DE INTERÉS (ENERO 2005 - OCTUBRE 2007)**

MES	CRÉDITO DE CONSUMO	CRÉDITOS ORDINARIOS	MICRO CRÉDITOS	CRÉDITO PREFERENCIAL
ENERO 05	22.01	14.45	10.63	9.81
FEBRERO 05	21.94	13.80	9.56	8.94
MARZO 05	21.06	13.21	12.33	8.16
ABRIL 05	20.04	13.94	11.00	7.36
MAYO 05	19.76	13.88	10.91	8.34
JUNIO 05	19.64	13.75	11.64	7.47
JULIO 05	17.62	12.15	9.84	7.38
AGOSTO 05	16.65	11.66	8.45	7.24
SEPTIEMBRE 05	16.57	11.41	7.86	7.65
OCTUBRE05	15.91	11.05	7.86	7.12
NOVIEMBRE 05	16.21	11.94	7.85	7.07
DICIEMBRE 05	15.87	10.58	7.52	6.71
ENERO 06	15.85	10.83	7.44	6.46
FEBRERO06	16.31	10.53	7.74	6.44
MARZO 06	16.04	10.71	8.77	6.77
ABRIL06	16.42	11.33	8.67	7.02
MAYO 06	17.01	11.82	8.87	7.45
JUNIO 06	16.56	11.30	9.86	7.47
JULIO 06	15.63	10.91	8.61	7.31
AGOSTO 06	15.53	10.85	18.62	7.55
SEPTIEMBRE 06	18.11	12.64	20.39	8.92
OCTUBRE 06	18.29	12.55	11.33	8.77
NOVIEMBRE 06	18.25	12.54	11.21	9.71
DICIEMBRE 06	17.18	11.55	8.91	8.74
ENERO 07	17.66	12.26	9.68	9.43
FEBRERO07	17.54	11.84	10.61	8.89
MARZO 07	17.56	12.63	11.02	9.55
ABRIL 07	18.92	13.01	11.65	9.53
MAYO 07	19.91	13.61	13.66	10.45
JUNIO 07	20.52	13.66	12.22	10.27
JULIO 07	22.10	14.26	12.61	10.86
AGOSTO 07	22.30	14.03	12.95	11.01
SEPTIEMBRE 07	22.35	13.97	13.77	11.02
OCTUBRE 07	18.32	12.33	10.40	8.52
PROMEDIO	18.28	12.38	10.72	8.38

Fuente: Superintendencia Bancaria.

A continuación se grafican los datos anteriores:

**GRÁFICO I. PROMEDIO ARITMÉTICO DE LAS TASAS DE INTERÉS  
(ENERO 2005 - OCTUBRE 2007)**



Fuente: Elaboración Propia en Base a Información de la Superintendencia Bancaria.

La tasa real de los préstamos, es decir, una vez restada la inflación, para el mismo período se observa en el Gráfico I.

Para las empresas de más de 25 mil usuarios, se establece el costo de deuda nominal de los créditos preferenciales (8.38), ya que sus condiciones financieras les permiten acceder a préstamos con una baja valoración de riesgo por parte de la banca comercial. Implícitamente, la exigencia de una tasa preferencial está dando la señal para que las empresas mejoren su gestión comercial y financiera y que esta tenga reflejo en una mejor estructura y costo del capital.

Para las empresas de menos de 25 mil usuarios, el valor de la deuda se toma como la tasa de créditos ordinarios (12.38). En este caso es claro que muchas empresas en este seg-

mento acceden a créditos por encima en “X” puntos de esta tasa. Sin embargo, para efectos regulatorios se considera que esta mayor valoración de riesgo no debe ser transmitida a los usuarios en la medida en que este mayor riesgo es resultado de una ineficiente gestión en materia financiera y comercial de la empresa.

El valor del costo de deuda afectado por el escudo fiscal (la deducción tributaria sobre los intereses de la deuda) se toma con una tasa impositiva del 34%.

La CRA estudiará la viabilidad de establecer incentivos para aquellas empresas que busquen prestar el servicio en mercados adicionales al propio, aprovechando las posibles economías de escala derivadas de la ampliación de la escala de operación

**TABLA 2. TASA REAL DE LOS PRÉSTAMOS**

MES	CRÉDITO DE CONSUMO REAL	CRÉDITOS ORDINARIOS	MICRO CRÉDITO REAL	CRÉDITO PREFERENCIAL
ENERO 05	16.58	9.02	5.20	4.38
FEBRERO 05	16.51	8.37	4.13	3.51
MARZO 05	15.63	7.78	6.90	2.73
ABRIL 05	14.61	8.51	5.57	1.93
MAYO 05	14.33	8.45	5.48	2.91
JUNIO 05	14.21	8.32	6.21	2.04
JULIO 05	12.19	6.72	4.41	1.95
AGOSTO 05	11.22	6.23	3.02	1.81
SEPTIEMBRE 05	11.14	5.98	2.43	2.22
OCTUBRE 05	10.48	5.62	2.43	1.69
NOVIEMBRE 05	10.78	6.51	2.42	1.64
DICIEMBRE 05	10.44	5.15	2.09	1.28
ENERO 06	10.42	5.40	2.01	1.03
FEBRERO 06	10.88	5.10	2.31	1.01
MARZO 06	10.61	5.28	3.34	1.34
ABRIL 06	10.99	5.90	3.24	1.59
MAYO 06	11.58	6.39	3.44	2.02
JUNIO 06	11.13	5.87	4.43	2.04
JULIO 06	10.20	5.48	3.18	1.88
AGOSTO 06	10.10	5.42	13.19	2.12
SEPTIEMBRE 06	12.68	7.21	14.96	3.49
OCTUBRE 06	12.86	7.12	5.90	3.34
NOVIEMBRE 06	12.82	7.11	5.78	3.74
DICIEMBRE 06	11.75	6.12	3.48	3.31
ENERO 07	12.23	6.83	4.25	4.00
FEBRERO 07	12.11	6.41	5.18	3.46
MARZO 07	12.13	7.30	5.59	4.12
ABRIL 07	13.49	7.58	6.22	4.10
MAYO 07	14.48	8.18	8.23	5.02
JUNIO 07	15.09	8.23	6.79	4.84
JULIO 07	16.67	8.83	7.18	5.43
AGOSTO 07	16.87	8.60	7.52	5.58
SEPTIEMBRE 07	16.92	8.54	8.34	5.59
OCTUBRE 07	12.89	6.90	4.97	3.09
PROMEDIO	12.85	6.95	5.29	2.95

Fuente: Superintendencia Bancaria.

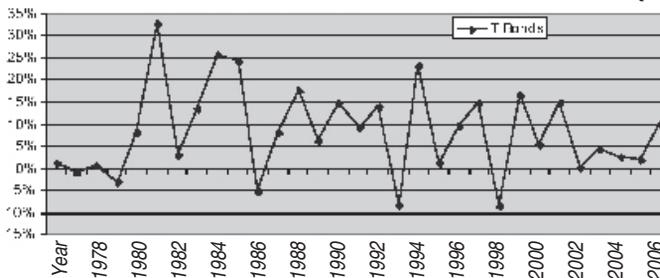
**9.2. COSTO DEL CAPITAL PROPIO**

**Tasa del Activo Libre de Riesgo**

Tomando como referencia el retorno de los bonos del tesoro americano de los últimos 30 años, el retorno promedio aritmético es de un

**8,47%**. Se toma 30 años por que se considera que es un período normal de maduración de las inversiones en un sector como el de agua potable y saneamiento básico. La fuente de los datos es la página web de Aswath Damodaran.

**GRÁFICO 2. RENDIMIENTO DE LOS T. BONDS (1977 - 2007)**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de Aswath Damodaran.

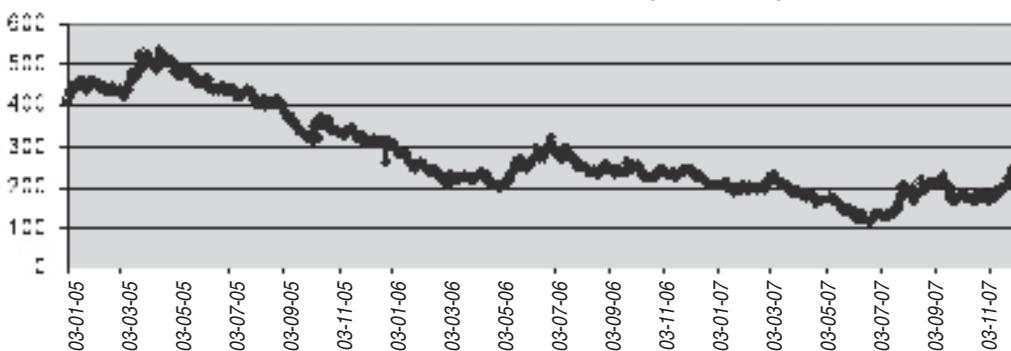
La prima de riesgo ( $E(Rm-Rf)$ ) en el mismo período corresponde a **4,68%**. El **beta** apalancado para la industria del agua en Estados Unidos para el año 2005 (último reportado en la base de Damodaran) es de **0.7** (correspondiente aun beta desapalancado de **0.49**).

de Estados Unidos y los papeles soberanos de deuda de Colombia de maduración similar (33 años) a las inversiones en el sector de agua potable, en un periodo comprendido entre el 3 de enero de 2005 y el 27 de noviembre de 2007, que se sitúa alrededor del **282 puntos**.

**Riesgo País**

El valor del riesgo país se toma como la diferencia entre los papeles soberanos de deuda

**GRÁFICO 3. SPREAD GLOBAL (33 AÑOS)**



Fuente: Minhacienda.

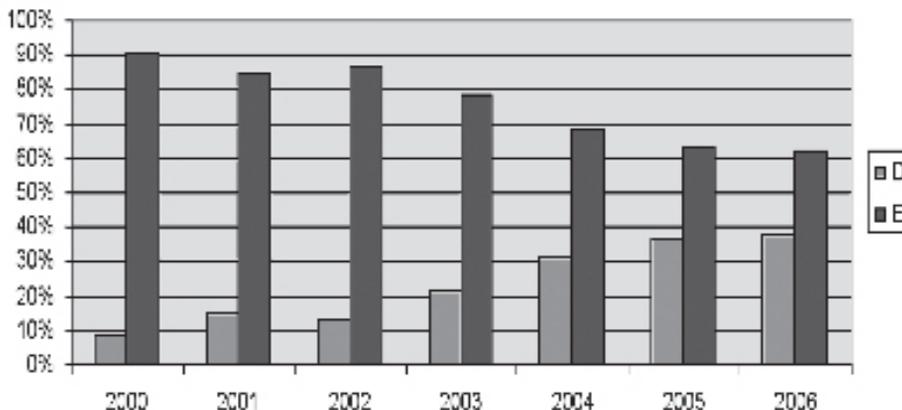
**Estructura de Capital**

La siguiente información se obtiene del SUI de los estados financieros (Balance General) de las empresas entre los años 2000-2006. Teniendo en cuenta el tamaño

de las empresas, la muestra se divide en empresas pequeñas, medianas y grandes.

Los siguientes gráficos resumen la estructura de apalancamiento de las empresas:

**GRÁFICO 4. ESTRUCTURA DE CAPITAL (EMPRESAS PEQUEÑAS)**

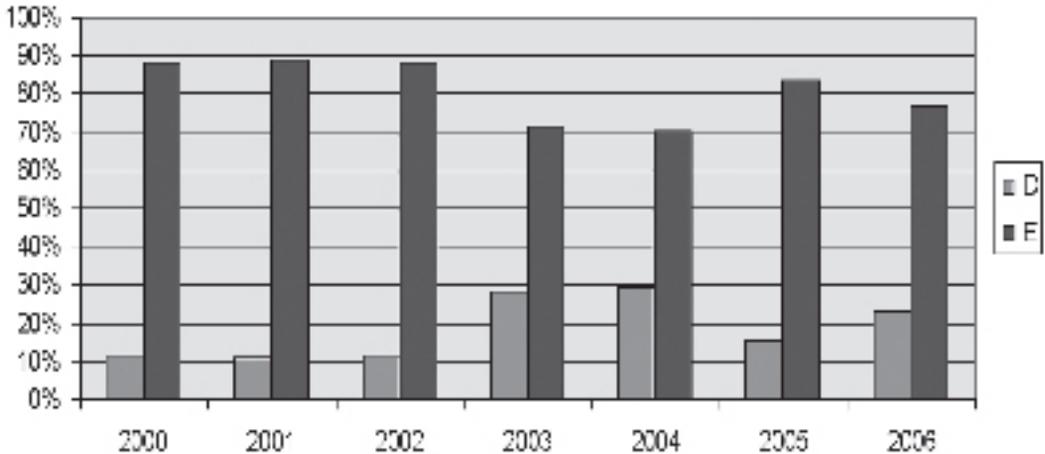


Fuente: Elaboración Propia, SUI.

Las empresas pequeñas presentaban baja utilización del crédito, situación que se ha venido mejorando. En el 2000, los niveles de deuda promedio de empresas pequeñas se ubicaban alrededor del 10%, en el 2006 ese nivel se aproxima a un **40%**. Lo anterior indica que para las

empresas de la muestra han venido mejorando su gestión financiera, ya que si se toma el uso del apalancamiento comercial como una proxy del desenvolvimiento en la gestión financiera de las empresas y por tanto de su eficiencia.

**GRÁFICO 5. ESTRUCTURA DE CAPITAL (EMPRESAS MEDIANAS)**

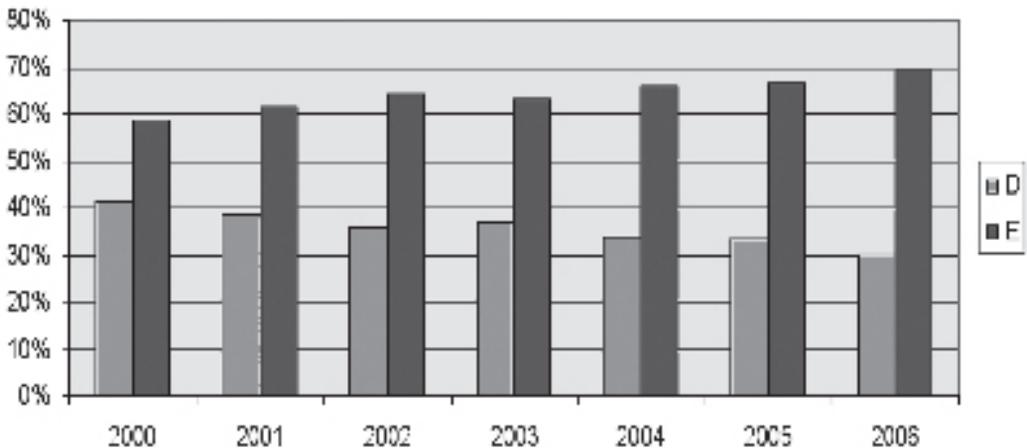


Fuente: Elaboración Propia, SUJ.

Las empresas medianas presentan un comportamiento estable, no eficiente<sup>6</sup>, en el uso de deuda como factor de apalancamiento.

En el 2000 el uso de deuda se situaba alrededor del **10%**, al año 2006 la proporción de deuda representa alrededor del **20%**.

**GRÁFICO 6. ESTRUCTURA DE CAPITAL (EMPRESAS GRANDES)**



Fuente: Elaboración Propia, SUJ.

<sup>6</sup> Puede ser considerado como eficiente el uso de deuda hasta por un 40% del total del capital utilizado para financiar inversiones.

Para el caso de empresas grandes el nivel de deuda en el 2000 se situaba alrededor del **40%**, para el año 2006 este se aproxima al **30%**. Obsérvese que las empresas mayores han venido sustituyendo deuda por capital propio, un poco en contravía de la eficiencia generada por el uso de deuda (escudo fiscal).<sup>7</sup>

Para efectos regulatorios, las simulaciones que derivan en el costo de capital a con-

siderar como eficiente, se consideran en una estructura de capital **40/60 (D/E)**; sin embargo, teniendo en cuenta las limitaciones en el acceso a la banca comercial y a los créditos por parte de empresas pequeñas y medianas, también se calcula el costo del capital para un estructura de **30/70 (D/E)**, como limite inferior de la “eficiencia financiera” de las empresas del sector de agua potable.

**TABLA 3. TABLA RESUMEN CÁLCULO DEL COSTO DE CAPITAL**

ESTRUCTURA DE CAPITAL 40% DEUDA 60% PATRIMONIO				ESTRUCTURA DE CAPITAL 30% DEUDA 70% PATRIMONIO					
		INFLACIÓN MAS DE 25.000		5.7 HASTA 25.000		INFLACION MAS DE 25.000		5.7 HASTA 25.000	
COSTO DE DEUDA	TASA INTERES	8.38		TASA INTERES	12.38	TASA INTERES	8.38	TASA INTERES	12.38
	KD	5.53		KD	8.17	KD	5.53	KD	8.17
	TASA IMPOSITIVA	0.340		TASA IMPOSITIVA	0.340	TASA IMPOSITIVA	0.340	TASA IMPOSITIVA	0.340
COSTO DE EQUITY	B desapalancado	0.49		B desapalancado	0.49	B desapalancado	0.49	B desapalancado	0.49
	B apalancado	0.70		B apalancado	0.70	B apalancado	0.70	B apalancado	0.70
	Rf	8.47		Rf	8.47	Rf	8.47	Rf	8.47
	E(Rm-Rf)	4.68		E(Rm-Rf)	4.68	E(Rm-Rf)	4.68	E(Rm-Rf)	4.68
	Riesgos País	2.82		Riesgos País	2.82	Riesgos País	2.82	Riesgos País	2.82
	En Dólares	14.56		En Dólares	14.56	En Dólares	14.56	En Dólares	14.56
	Devaluación	0.00		Devaluación	0.00	Devaluación	0.00	Devaluación	0.00
	En \$ corriente	14.56		En \$ corriente	14.56	En \$ corriente	14.56	En \$ corriente	14.56
	En \$ reales	8.39		En \$ reales	8.39	En \$ reales	8.39	En \$ reales	8.39
		ESTRUCTURA DE CAPITAL			We	0.60	Wd	0.60	We
	Wd	0.40		Wd	0.40	Wd	0.30	Wd	0.30
We	0.70		WACC		WACC(ai)	10.98	WACC (ai)	12.58	

Fuente: Elaboración Propia.

7 Ver nota 5.

## 10. REFERENCIAS

- Alexander, Ian. Mayer, Colin, y Weeds, Helen. *Regulatory Structure and Risk: And International Comparation*. World Bank. Enero 1996.
- Baca Currea, Guillermo. *Ingeniería Económica*. Fondo Educativo Panamericano. Octava Edición, 2005.
- Bravo, Sergio. *El Riesgo País, Concepto y Metodologías de Cálculo*. ESAN. Perú.
- CREG, Documento para Discusión Costo de Capital. *Metodología de Cálculo para la Distribución de Energía Eléctrica y Gas Combustible por Redes*. Marzo 1 de 2002.
- Correia Da Silva, Luis. Mayer, Colin y Jenkinson, Tim. *Water, Sustainability and Regulation*. Cap 10 "The Capital Structure of Water Companies". Oxera Publications. Oxford. 2003.
- Murphy, John. *Análisis Técnico de los Mercados Financieros*. Ed. Gestion 2000. Barcelona. 1999.
- Ortiz Anaya, Héctor. *Análisis Financiero Aplicado y Principios de Administración Financiera*. 12ª edición. Universidad Externado de Colombia. 2004.
- Serrano Rodríguez, Javier. *Metodología y Estimación del Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), para empresas de Acueducto y Alcantarillado*. Consultoria efectuada para DNP. Mayo 31 de 2004.

## II. PÁGINAS WEB CONSULTADAS

---

Revista Dinero: <http://www.dinero.com/>

Aswath Damodaran: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>

Banco de la Republica: <http://www.banrep.gov.co/>

Bloomberg: <http://www.bloomberg.com/intro3.html>

Dane: <http://www.dane.gov.co/>

Diario la Republica: <http://www.la-republica.com.co/>

Standard & Poors: <http://www2.standardandpoors.com/>

Federal Reserve System: <http://www.federalreserve.gov/>

Superintendencia Financiera de Colombia: <http://www.superfinanciera.gov.co/>

# EL SERVICIO UNIVERSAL EN LOS SERVICIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO: UN COMPROMISO DE BIENESTAR PARA LOS COLOMBIANOS<sup>1</sup>

**Cristian Stapper Buitrago. Experto Comisionado.**  
**Giovanna Londoño. Asesora Experto Comisionado**

## RESUMEN

En Colombia, como en otros países en desarrollo, existen sectores importantes de la población que, debido a condiciones socio-económicas y geográficas, no están en capacidad de pagar el costo de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado o simplemente no tienen acceso a estos servicios. En este sentido, y teniendo en cuenta las consideraciones de la Ley en relación con el acceso al servicio, se han formulado políticas e implementado instrumentos tendientes a alcanzar el servicio universal en el sector. Según el Banco Mundial (2004), Colombia ha desarrollado uno de los esquemas de política más completos para el acceso universal a servicios de infraestructura, incluyendo los servicios de agua potable y saneamiento.

Los resultados de los esquemas adoptados presentan fortalezas y debilidades que se reflejan en la situación actual del sector. En este sentido, este documento analiza el impacto de las políticas que se han adoptado para alcanzar el servicio universal en Colombia, en particular el esquema institucional y de financiamiento, y el esquema de precios. Adicionalmente, de acuerdo con el análisis se busca identificar los avances que se han dado en relación con el acceso universal en el sector de agua y profundizar sobre las condiciones que no han permitido alcanzarlo en su totalidad.

**Palabras Clave: Servicio Universal, Subsidios, Acueducto y Alcantarillado.**

*1 Las opiniones del autor se hacen a título personal y no comprometen en nada la posición institucional de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.*

## I. INTRODUCCIÓN

En Colombia, como en otros países en desarrollo, existen sectores importantes de la población que, debido a condiciones socio-económicas y geográficas, no están en capacidad de pagar el costo de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado o simplemente no tienen acceso a estos servicios. En este sentido, y teniendo en cuenta las consideraciones de la Ley en relación con el acceso al servicio, se han formulado políticas e implementado instrumentos tendientes a alcanzar el servicio universal en el sector. Según el Banco Mundial (2004), Colombia ha desarrollado uno de los esquemas de política más completos para el acceso universal a servicios de infraestructura, incluyendo los servicios de agua potable y saneamiento.

De acuerdo con Laffont (2005), el debate en relación con las políticas de servicio universal en los países en desarrollo se da alrededor de dos temas clave. El primero, se refiere a la forma de extender o financiar las coberturas, y el segundo se refiere al diseño del esquema de precios para implementar el servicio universal. En Colombia, se puede decir que estos dos temas han sido abordados desde la política pública sectorial y la regulación. En relación con la financiación de las inversiones orientadas a la expansión de cobertura, se ha acudido a diversas fuentes. Estas fuentes incluyen, en orden de magnitud, recursos fiscales, tarifas y recursos privados, este último aún marginal. En relación con los precios, se

ha adoptado un sistema de recuperación de costos mediante la definición de costos medios de referencia complementado por un esquema de subsidios cruzados asociado a condiciones de estratificación socio-económica.

Los resultados de los esquemas adoptados presentan fortalezas y debilidades que se reflejan en la situación actual del sector. En este sentido, este documento analiza el impacto de las políticas que se han adoptado para alcanzar el servicio universal en Colombia, en particular el esquema institucional y de financiamiento, y el esquema de precios. Adicionalmente, de acuerdo con el análisis se busca identificar los avances que se han dado en relación con el acceso universal en el sector de agua y profundizar sobre las condiciones que no han permitido alcanzarlo en su totalidad.

El documento se desarrolla en tres secciones. En la primera sección, se presenta una revisión de la literatura relacionada con servicio universal en el sector de agua que busca contextualizar el caso Colombiano, dentro de los últimos avances teóricos y empíricos. A partir de esta revisión, en la segunda sección se hace una descripción del sector de agua y su evolución en relación con el acceso universal. En la tercera sección, se hace un análisis del impacto del esquema de precios y subsidios en Colombia, para finalmente identificar los avances que se han dado en el sector, y las condiciones que no han permitido consolidar el servicio universal.

## 2. SERVICIO UNIVERSAL EN EL SECTOR DE ACUEDUCTO

En la última década, y como consecuencia de los procesos de liberalización de sectores de servicios públicos como el de telecomunicaciones y el eléctrico, el tema de servicio universal, entendido como la provisión del servicio a todos los consumidores, a un nivel de calidad mínimo y a precios accesibles (Bourguignon y Ferrando, 2007), ha sido ampliamente desarrollado en el contexto de los cambios y los nuevos esquemas de prestación. En este sentido, cambios como la introducción de competencia, el incremento de la participación privada, los desarrollos tecnológicos y la desagregación vertical, han generado nuevos interrogantes y temas de investigación para el análisis del servicio universal en los servicios públicos.

Aunque algunas de las experiencias que se han dado en sectores como el de telecomunicaciones, son relevantes para otros servicios, muchos no tienen aplicación dado que están asociados a características muy específicas del sector; o simplemente los procesos de transformación han sido fundamentalmente distintos, tanto en su velocidad como en su naturaleza. En el caso particular de los servicios de acueducto y alcantarillado, las diferencias entre éstos y otros servicios públicos son más pronunciadas, en especial en temas de competencia, desagregación vertical y eficiencia dinámica. Ballance y Taylor (2005) explican que las similitudes entre el servicio de agua y los servicios de gas y electricidad, y la necesidad de reformar el sector para introducir competencia se han sobreestimado. Las principales diferencias entre el sector de agua y el sector eléctrico y de gas incluyen (Ballance y Taylor, 2005):

- Los costos del componente de transporte para el servicio de acueducto son muy altos (relativos a los costos de producción)
- Los aspectos relacionados con la seguridad del abastecimiento de agua son más complejos
- El servicio de agua es un sector de costos crecientes
- El agua es un bien homogéneo, la calidad del mismo puede variar significativamente

Ahora bien, no sólo la mayoría de los desarrollos recientes se concentran en los servicios públicos de mayor dinamismo, sino también en estos sectores en los países desarrollados. Sin embargo, trabajos como el de Laffont (2000, 2005), Estache et al (2006), Clark y Wallsten (2002) y otros publicados por organismos multilaterales han desarrollado, aunque no siempre de forma específica para el sector de agua, el tema de acceso universal a los servicios públicos en los países en desarrollo.

Adicionalmente, el servicio universal está asociado a temas como la eficiencia de los subsidios cruzados, la definición de precios óptimos, el análisis de mecanismos e instrumentos de financiamiento y la expansión de infraestructura en los países en desarrollo. En este sentido, y teniendo en cuenta, que estos temas por sí solos incluyen una literatura amplia, se hizo una breve revisión de los temas relevantes en el sector de agua para un país como Colombia.

## 2.1 JUSTIFICACIÓN

Las políticas de servicio universal, generalmente, se implementan para alcanzar objetivos sociales como proporcionar tarifas accesibles a la población de menos recursos o extender las coberturas a áreas, generalmente rurales o marginales, sin servicio. En muchos casos, y en especial en los países en desarrollo, los precios accesibles para una proporción importante de los habitantes, están por debajo de los costos de prestación. Las restricciones de pago por parte de estos consumidores se pueden derivar de dos condiciones. La primera tiene que ver con condiciones socio-económicas, es decir con la capacidad de pago de los habitantes de menores recursos. La segunda tiene que ver con condiciones geográficas que implican altos costos de prestación, y que en general, están asociadas a áreas rurales.

De acuerdo con Cremer et al (1998) las políticas de servicio universal se justifican mediante una combinación de los siguientes factores (Clarke y Wallsten, 2002): (1) externalidades asociadas al servicio, (2) clasificación del servicio como un bien meritario, y (3) razones políticas y estrategias de desarrollo regional.

En el caso del sector de agua, las externalidades positivas están asociadas a los beneficios de salubridad derivados del acceso a agua potable y saneamiento. La Organización Mundial de la Salud (2004) estima que por cada dólar invertido en agua potable y saneamiento se obtiene un beneficio económico de entre 3 y 34 dólares, dependiendo de la región.

La clasificación de los servicios de acueducto y alcantarillado como un bien meritario implica que estos servicios se perciben como más importantes que otros bienes y servicios. En el caso de Colombia, esto es evidente, pues dentro de la Ley de Servicios Públicos, se hace explícito que se debe dar atención prioritaria a las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico.

Desde el punto de vista político, las obligaciones de servicio universal en los países en desarrollo son consideradas como parte de las estrategias de desarrollo distributivas hacia los sectores de menores ingresos y las regiones menos desarrolladas. (Estache et al, 2006). Sin embargo, muchos de los procesos de reestructuración de los sectores de agua y saneamiento en países como Colombia han implicado aumentos en los precios para acercarse a los costos de prestación buscando mejoras en eficiencia y la sostenibilidad del sector. Estas mejoras en últimas han implicado el desmonte gradual de subsidios generalizados y la reorientación de los recursos hacia mejoras en la calidad del servicio, la expansión del sistema y los subsidios focalizados.

Estos precios se han justificado en términos de la eficiencia y sostenibilidad del sector, y su implementación ha dependido de la capacidad institucional de los diferentes países y regiones. En el caso de Colombia, el proceso de transformación del sector ha incluido el desmonte gradual de subsidios mediante un periodo de transición tarifaria que ha implicado aumentos sostenidos de las tarifas, en especial en los grandes centros urbanos. No obstante, en muchos casos, en municipios pequeños las autoridades locales no han realizado los incrementos tarifarios, y el manejo de los recursos del sector se ha politizado favoreciendo subsidios generalizados muy altos.

## 2.2 EXPANSIÓN Y PRECIOS

Extender el servicio a los más pobres o a áreas rurales y hacerlo a precios *accesibles*, implica destinar recursos, tanto para ampliar la infraestructura, como para cubrir la diferencia entre los costos de prestación y los precios *accesibles*. Para esto, es necesario definir: (1) la forma de financiar la expansión del sistema y (2) los esquemas de precios que permiten sostener las obligaciones de servicio universal (Laffont, 2005).

En los países en desarrollo, los recursos que se destinan a subsidiar los precios de usuarios existentes de alguna forma compiten con los recursos que se destinan a ampliar las coberturas. En este sentido, la implementación del servicio universal implica considerar la interacción entre los precios y la expansión del sistema. Esta interacción ha sido analizada por Estache et al (2006), Laffont (2005), Laffont y N'Go (2000), y Chisari et al (2003). Estos autores han explorado temas como el costo de los recursos públicos en países en desarrollo, las asimetrías de información, la corrupción, y el nivel de pobreza dentro del contexto del acceso universal al servicio. Algunas de sus conclusiones incluyen:

- El tamaño óptimo del sistema decrece con el costo de los recursos públicos, y el costo marginal del sistema se incrementa con el costo de las tecnologías alternativas y el nivel de pobreza.
- En un país con sistema de impuestos corrupto, la única forma de expandir el sistema en las áreas más pobres es con subsidios cruzados y un presupuesto balanceado.
- Bajo asimetrías de información, es importante que los reguladores y políticos tengan en cuenta el balance entre la eficiencia y la extracción de rentas en la evaluación de las alternativas de precios para diseñar las políticas de servicio universal, dado el alto costo de los recursos públicos en los países en desarrollo.
- Los esquemas de precios y la expansión del servicio no se pueden abordar de forma separada. Los precios uniformes no son el instrumento regulatorio ideal cuando los gobiernos aspiran a alcanzar el servicio universal. El esquema de precios uniformes tiende a penalizar a los usuarios no conectados y, de hecho, resulta en menores expansiones del sistema, en comparación con un esquema de precios discriminatorios.

Lo anterior es aún más relevante, si se considera que muchos de los sectores más pobres de la población, a donde muchas de las políticas redistributivas apuntan, no cuentan con acceso alguno al servicio, y por lo tanto a los subsidios. En este sentido, si el esquema de precios para subsidiar a los usuarios ya conectados compromete los recursos para expansión, el éxito de las políticas redistributivas es limitado. De acuerdo con el Banco Mundial (Foster, 2005), la mayoría de los subsidios en América Latina benefician a la clase media.

### 2.3 FINANCIAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN

Todos los subsidios, incluidos los implícitos, se pueden clasificar de acuerdo con (Estache et al, 2006): (1) la fuente de financiamiento, (2) los criterios utilizados para identificar los beneficiarios, y (3) el bien o servicio que se subsidia. En el caso de Colombia, los subsidios se financian mediante subsidios cruzados y transferencias del gobierno, el criterio de selección se basa en un esquema de estratificación socio-económica, y se subsidia de forma generalizada el acceso, y de forma focalizada el consumo y la conexión. El acceso se refiere a los costos de capital representados en las inversiones en infraestructura, que se representan en la tarifa por el componente de inversión, y la conexión se refiere a la acometida y el medidor.

Existen dos opciones para financiar el servicio universal: mediante recursos provenientes de impuestos o subsidios cruzados. Los recursos fiscales se entienden como un subsidio presupuestal de origen externo al sector y se pueden transferir a las firmas o los consumidores directamente. Los subsidios cruzados se pueden financiar con contribuciones de usuarios residenciales de bajo costo o altos ingresos o con usuarios industriales y comerciales, y se entienden como internos al sector. Son también internos al sector, las contribuciones que se pueden imponer a las firmas del sector.

Los subsidios cruzados se dan cuando los precios del servicio para un grupo de consumidores son menores a los costos de prestación del mismo (sean medios o incrementales), y a su vez, éstos se financian con precios más altos para otro grupo de consumidores. Los subsidios cruzados también se pueden dar entre productos, como en el caso del sector de telecomunicaciones, en donde, en muchos casos, el servicio de telefonía local era subsidiado en parte por el servicio de telefonía de larga distancia.

Un caso particular de los subsidios cruzados, son las obligaciones de servicio universal impuestas a las firmas. Es decir, la imposición de restricciones de cobertura, precio, o ambos por parte del regulador o del gobierno a las empresas. Un parte importante de la literatura de servicio universal se concentra en las obligaciones de servicio universal impuestas a las firmas, en particular en el sector de telecomunicaciones. Sin embargo, si éstas se entienden como un caso particular de los subsidios cruzados, muchos de los desarrollos son relevantes. Adicionalmente, es común que las obligaciones de servicio universal se concentren en condiciones regionales más que socio-económicas. No obstante, al tratarse de grupos de consumidores con capacidad o disponibilidad de pago limitada, se pueden extrapolar algunos de los hallazgos.

Las consideraciones sobre financiamiento, y sobre quién y qué se subsidia, están relacionadas con la definición de precios óptimos sujetos a criterios redistributivos. En este sentido, la selección del esquema de precios no va a estar asociado únicamente a criterios de eficiencia asignativa, sino a consideraciones sobre el ingreso de los diferentes consumidores y el impacto sobre la expansión del sistema. Es evidente entonces, que la inclusión de estas consideraciones sobre servicio universal, hace más compleja la definición de precios óptimos.

En principio, un esquema de precios puede ser uniforme o discriminatorio. Los precios uniformes, implican que se cobran las mismas tarifas a todos los usuarios, independiente del

tipo de usuario, los costos de prestación que estos involucren o la elasticidad de la demanda. Generalmente, los precios uniformes implican subsidios entre los usuarios de alto costo y usuarios de bajo costo (Ej., usuarios rurales y urbanos). Los precios discriminatorios diferencian entre servicios o tipo de consumidores, sin que necesariamente los costos de prestación varíen entre éstos. Un ejemplo de precios discriminatorios son los precios Ramsey, donde, los costos fijos se introducen mediante un margen sobre los costos marginales que es inversamente proporcional a la demanda. El criterio de discriminación de los precios Ramsey está asociado a la elasticidad de la demanda. Los criterios discriminatorios relacionados con políticas de acceso universal, generalmente están asociados a las condiciones socioeconómicas o geográficas de los usuarios.

Generalmente, el acceso a los servicios de acueducto y alcantarillado incluye el costo de la conexión, los costos fijos del sistema, y los costos por consumo. Cualquiera de estos tres costos puede ser subsidiado y su implementación va a depender de cómo esté estructurada la tarifa. Las tarifas pueden ir desde un cargo único, independiente del nivel de consumo hasta una tarifa de dos tramos, donde se distingue entre el cargo fijo y el cargo variable o cargo por consumo, y donde a su vez el cargo por consumo que puede incrementarse o disminuir por rangos o bloques de consumo.

El acceso universal que involucra subsidios costos en términos de eficiencia. Para minimizar estos costos, es necesario definir la combinación óptima de precios y financiamiento. Esto, teniendo en cuenta que los mecanismos de financiamiento deben buscar minimizar las distorsiones a la demanda y la inversión y minimizar los costos de administración y ser neutrales frente a las firmas (Clarke y Wallsten, 2002).

Así mismo, la selección de alguna de estas opciones o de una combinación de las mismas va a depender, entre otras cosas,

de los porcentajes de cobertura, el porcentaje de la población a subsidiar, el esquema institucional y regulatorio, las preferencias políticas entre equidad y eficiencia.

#### 2.4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Las políticas de servicio universal que introducen distorsiones a los precios implican costos en eficiencia. De acuerdo con Estache et al (2001), desde el punto de vista de la eficiencia (pareto eficiente), la relación entre pobreza e infraestructura se debe abordar como una condición de pobreza más, y se debe corregir a través del sistema de seguridad social. Sin embargo, en muchos países los sistemas de seguridad social no existen o tienen un alcance limitado, siendo en muchos casos necesario abordar el problema de inequidad y capacidad de pago desde el interior del sector. De esta forma, desde una perspectiva económica clásica, las transferencias directas se consideran la forma más eficiente para ayudar a los usuarios con restricciones de pago. Sin embargo, estas no siempre son viables ya sea por limitaciones de información o por los altos costos de los recursos públicos.

De cualquier forma, las diferentes opciones de financiamiento, se deben evaluar de acuerdo a las condiciones especiales de cada caso. Clarke y Wallsten (2001) identifican cuatro problemas asociados a los subsidios cruzados:

- Son Ineficientes, al separar los precios de los costos de prestación distorsionan las decisiones de consumo e inversión.
- Generalmente, no son transparentes, pues es difícil definir quién los recibe y quién los financia.
- No incentivan necesariamente la prestación en áreas de altos costos o áreas marginales.
- Debido a que generalmente no se diseñan teniendo en cuenta las necesidades

de expansión, tienen un impacto negativo sobre las mismas.

No obstante, los precios que incluyen subsidios cruzados a través de criterios redistributivos pueden ser óptimos desde un escenario de *segundo-mejor*, teniendo en cuenta las restricciones de información para implementar políticas más eficientes como las transferencias directas (Cremer et al, 1998). En este sentido, es necesario tener en cuenta el costo de recursos públicos y la eficiencia del sistema de impuestos. En los países en desarrollo, el costo de los recursos públicos puede ser muy alto, y como explica Laffont (2000), en la presencia de corrupción, la única fuente de financiación viable puede ser los subsidios cruzados.

La medición de subsidios cruzados es relevante en la implementación de política pública, y en particular en los sectores de servicios públicos regulados en donde se pueden distinguir cuatro tipos de subsidios cruzados Heald (1996): (1) entre diferentes componentes del servicio (Ej., producción y distribución); (2) mediante tarifas geográficamente uniformes; (3) entre diferentes categorías de usuarios, (4) entre productos integrados horizontalmente (Ej., electricidad y gas). De acuerdo con Heald (1996), los casos (1) y (4) involucran aspectos asociados a la estructura del sector regulado mientras que los casos (2) y (3) generan preguntas fundamentales sobre las políticas de precios. Las políticas de precios generalmente se definen a partir del análisis de las alternativas donde los precios definidos como óptimos en términos de eficiencia, sea asociados a costos marginales o precios Ramsey, se utilizan como referencia.

Para evaluar las opciones y combinación de las mismas es necesario determinar el costo, pero más importante, el impacto sobre el bienestar. Cremer et al (1998), plantea que la definición de los precios óptimos es un problema de precios Ramsey con consumidores

heterogéneos y con la posibilidad de que la función objetivo refleje las consideraciones sobre redistribución. En este sentido, los autores explican cómo los esquemas de precios no lineales, como las tarifas en bloque, son muy atractivos para financiar los consumidores de menores ingresos, pues tienden a reducir las distorsiones y son más efectivos para focalizar los recursos. También muestran cómo, en el caso de los monopolios naturales, una combinación entre transferencias a las firmas y subsidios cruzados puede ser la solución óptima.

De esta forma, la medición del impacto sobre el bienestar de cualquier esquema de precios y financiamiento involucra la definición de una alternativa de referencia o benchmark que generalmente representa la opción óptima en términos de eficiencia. La definición del benchmark involucra conocer la estructura de costos, la definición de costos marginales y la asignación de costos a los diferentes tipos de usuarios. Esta información es difícil de obtener en la práctica lo que obstaculiza la implementación empírica de las premisas normativas de la literatura.

### 3. EL SECTOR DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN COLOMBIA

La Ley de Servicios Públicos Domiciliarios 142 de 1994 (LSPD), definió el esquema de prestación de los servicios públicos domiciliarios en Colombia, buscando el cumplimiento de los siguientes objetivos (CRA, 2006):

- Asegurar la calidad y eficiencia de la prestación de los servicios
- Ampliar las coberturas en la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento básico, teniendo en cuenta la prestación continua y sin interrupciones del servicio, y establecer sistemas de compensación para atender a la población con menor capacidad de pago.
- Permitir e incentivar la participación de la iniciativa privada (operadores especializados) en la prestación de los servicios por medio de empresas de servicios públicos, bajo el régimen de sociedades por acciones.
- Garantizar la participación de los usuarios en el control de la gestión y fiscalización de la provisión de los servicios.
- Establecer el régimen tarifario de manera tal que permita cubrir eficientemente los costos de administración, operación, mantenimiento, inversión y remuneración del capital. Dicho régimen deberá incluir la administración de los subsidios de los sectores de bajos ingresos, siguiendo los principios de equidad y solidaridad.

Así mismo, y a partir de la Constitución de 1991 y de la LSPD, se definió la nueva estructura institucional del sector. La definición

de políticas sectoriales y las actividades de regulación y control de los servicios de acueducto y alcantarillado, corresponde al Gobierno Nacional. La responsabilidad de la provisión eficiente de estos servicios reside en los gobiernos locales o municipios (1080), estos deben asegurar la prestación de los servicios domiciliarios de acueducto y alcantarillado a sus habitantes, por medio de empresas de servicios públicos de carácter oficial, privado o mixto, o directamente por la administración central del respectivo municipio en los casos previstos por la Ley. Finalmente, las autoridades departamentales (instancia intermedia) cuentan con funciones de apoyo y coordinación.

#### 4.1 RÉGIMEN TARIFARIO

En Colombia, los precios de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado se fijan con base en los costos de prestación de los servicios establecidos por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) mediante las metodologías tarifarias establecidas para tal fin. La CRA es la entidad de orden nacional que regula los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo.

Con el ánimo de alcanzar los objetivos impuestos por la LSP en la prestación de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, la CRA ha expedido hasta la fecha dos metodologías tarifarias. Las disposiciones establecidas en la primera metodología tarifaria (1996) buscaron superar, en gran medida, el equilibrio de bajo nivel existente, que implicaba que las tarifas no eran suficientes para cubrir los costos involucrados en la prestación de estos servicios. En tal sentido, mediante un

esquema de tasa de retorno, se establecieron costos medios de prestación que garantizaran la suficiencia financiera de las empresas.

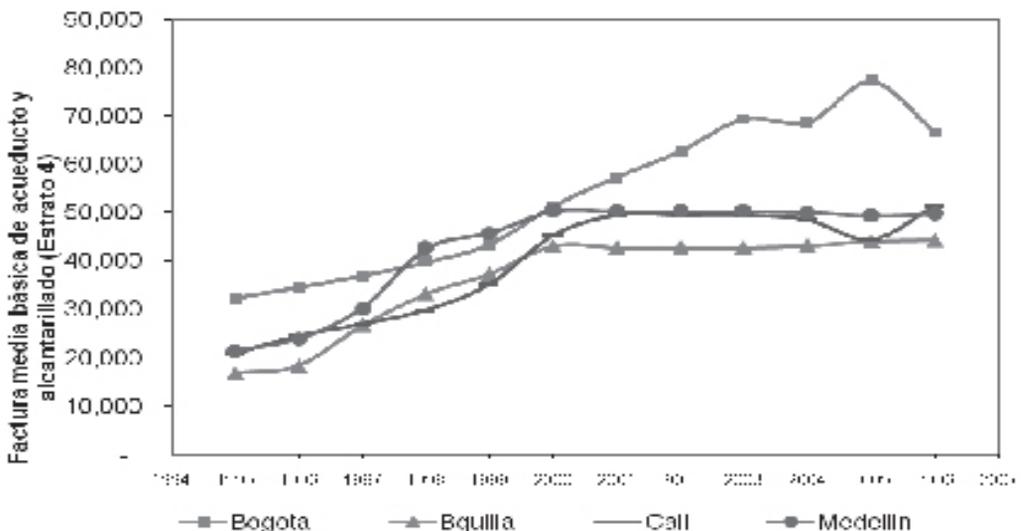
La segunda metodología tarifaria se inició con la expedición de la Resolución 287 de 2004, la cual estableció una nueva metodología para el cálculo de los costos de prestación de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado. Entre los objetivos centrales de esta nueva metodología se destacaron (1) impedir el traslado de ineficiencias de los prestadores a los usuarios a través de mecanismos de eficiencia comparativa, y (2) seguir garantizando la suficiencia financiera de las empresas.

En resumen, el régimen tarifario actual, se puede caracterizar como esquema híbrido, que integra mecanismos de regulación por comparación y costo medio con tasa de retorno. En

este sentido, los costos de referencia se definen a partir de los costos medios de prestación que incluyen un componente de costos fijos y un componente de costos variables. El componente de costos fijos incluye los costos de administración y el componente de costos variables incluye los costos de operación y mantenimiento, los costos de inversión<sup>2</sup> y las tasas ambientales. Adicionalmente, a una parte de los costos de administración y operación se les aplica un factor de eficiencia mediante competencia por comparación a través de la metodología de Análisis Envoltante de Datos (DEA).

A partir de la formulación de los regímenes tarifarios de 1996 y 2004, las tarifas han mostrado una tendencia creciente seguida de un proceso de estabilización, tal como se muestra en la Figura 1 a continuación.

**FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LAS TARIFAS, CUATRO PRINCIPALES CIUDADES, 1995-2006**



Fuente: Boletín Estadístico No. 1, Datos Reportados por las Empresas. Cálculos: CRA

<sup>2</sup> Los costos de inversión incluyen el valor de las inversiones en expansión, rehabilitación y reposición. Adicionalmente, incluye la remuneración sobre los activos.

De acuerdo con un estudio de la CRA (2006), el promedio de la factura media básica de acueducto y alcantarillado para el estrato 4<sup>3</sup> era de \$40.000 pesos (2005) o aproximadamente \$20 dólares mensuales<sup>4</sup>.

### 3.2 SUBSIDIOS CRUZADOS

A partir de los costos medios de referencia definidos por la CRA y descritos en la sección anterior, se aplican factores de subsidio y contribución para determinar los precios o tarifas finales. Estos factores de subsidio y contribución se definen con base en un esquema de subsidios cruzados, en donde los hogares de menores ingresos pagan tarifas inferiores a los costos de prestación, mientras que los hogares de mayores ingresos y los usuarios comerciales e industriales pagan una contribución para cubrir dichos subsidios.

El esquema de subsidios cruzados se basa en la estratificación socio-económica de las viviendas. Para esto, los usuarios residenciales se clasifican en seis (6) estratos, siendo el estrato 1 el que corresponde a las viviendas de menores ingresos, y el estrato 6 a las de mayores ingresos. La estratificación busca clasificar en áreas geográficas, como barrios o manzanas, a los municipios de acuerdo con características socio-económicas comunes asociadas a la vivienda y su entorno. En este sentido, la clasificación se realiza con base en variables de población, características físicas de la vivienda, servicios e infraestructura y otras variables socio-económicas como acceso a necesidades básicas. La metodología y ponderación de las variables varía de acuerdo al municipio.

Así mismo, la Ley establece topes y mínimos para los factores de subsidio y contri-

bución. Actualmente, los niveles de subsidio máximos son del 15% del costo para el estrato 3, 40% para el estrato 2, y 70% para el estrato 1. De igual forma, los niveles de contribución mínima son del 50% para el estrato 5, 60% para el estrato 6, 50% para los usuarios comerciales y del 30% para los usuarios industriales. Los usuarios de estrato 4 no reciben subsidio, ni pagan contribución, es decir pagan precios que reflejan los costos medios de prestación.

Es importante resaltar que los factores de subsidio se aplican sólo para un rango de consumo básico, o consumo de subsistencia, definido entre 0 y 20 metros cúbicos. Para consumos por encima de 20 metros cúbicos se utiliza el costo del servicio. Igualmente, la Ley 715 de 2001 establece los recursos destinados a agua potable y saneamiento básico del Sistema General de Participaciones<sup>5</sup> se pueden destinar a: (i) financiar inversiones en infraestructura; y, (ii) cubrir los subsidios que se otorguen según lo dispuesto en la Ley 142 de 1994.

En el 2003, el último año para el cual se tiene información agregada, los subsidios otorgados directamente a los usuarios de los estratos 1, 2 y 3 ascendieron a \$601.007 millones de pesos, un poco más de 300 millones de dólares (INECON, 2006).

Los estratos subsidiados tienen una tarifa no lineal en bloques, que esta compuesta de un cargo fijo y un cargo por consumo. En el primer bloque esta asociado al consumo básico o de subsistencia que es de 20 m<sup>3</sup>. La tarifa para los estratos no subsidiados y contribuyentes (4, 5 y 6) es una tarifa en dos partes también compuesta de un cargo fijo y un cargo variable, pero es lineal en el componente de consumo.

<sup>3</sup> Equivalente a los costos medios de referencia para un consumo de 20m<sup>3</sup>

<sup>4</sup> Es importante aclarar que esta tarifa no incluye en su mayoría los costos de tratamiento de aguas residuales, pues sólo algunas empresas cuentan con tratamiento. En promedio, se estima que en Colombia se sólo se trata el 8% de las aguas residuales (CRA, 2006), este porcentaje varía notablemente entre empresas.

<sup>5</sup> El Sistema General de Participación es un sistema de origen constitucional por medio del cual el Gobierno Nacional distribuye una porción de los ingresos corrientes por él percibidos anualmente entre los municipios y departamentos del país con destino específico a los sectores de salud (24.5%), al sector educación (58.5%) y con destino a Propósito General (17.0%), incluyendo en éste último los recursos con destino a agua potable y saneamiento básico, tal y como lo define el artículo 3° de la Ley 715.

En relación con los costos de conexión, los subsidios son discrecionales, en particular la Ley establece que con el propósito de incentivar la masificación de estos servicios las empresas prestadoras otorgarán plazos para amortizar los cargos de la conexión domiciliaria, incluyendo la acometida y el medidor, los cuales serán obligatorios para los estratos 1, 2 y 3. Así mismo, los costos de conexión domiciliaria, acometida y medidor de los estratos 1, 2 y 3 podrán ser cubiertos por el municipio, el departamento o la nación a través de aportes presupuestales para financiar los subsidios otorgados a los residentes de estos estratos que se benefician con el servicio.

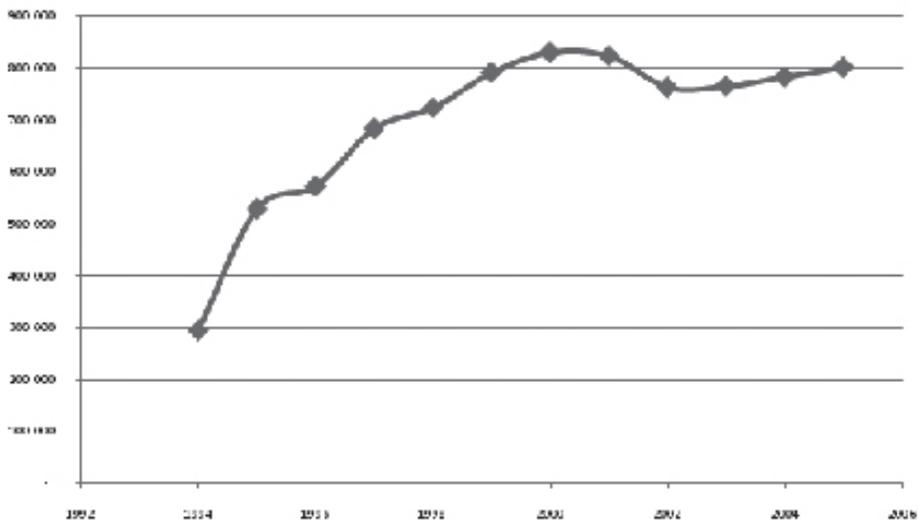
### 3.3 FINANCIAMIENTO E INVERSIONES

Las expansiones del servicio a nuevos usuarios y regiones, requiere de recursos, en especial en un país como Colombia donde persisten grupos de población sin acceso a los servicios de agua potable y saneamiento. Así mismo, y como se mencionó, se hacen necesarios recursos para proveer el servicio

a precios accesibles a la población con capacidad de pago limitada. Actualmente, en parte de los centros urbanos grandes y medianos, las necesidades de recursos se concentran en proporcionar precios accesibles. En contraste, en las áreas rurales y municipios pequeños las necesidades son tanto de expansión en infraestructura como de subsidios a la demanda.

La inversión en el sector de agua y saneamiento en Colombia se financia en su mayoría con las transferencias que hace el gobierno central a los municipios y otros recursos públicos. En promedio, entre el 2004 y el 2006, los recursos públicos dirigidos al sector fueron de cerca de 1,5 billones anuales<sup>6</sup> (INECON, 2006). Entre 1994 y 2005, el Gobierno central transfirió por medio del Sistema General de Participaciones (SGP) cerca de 8 billones de pesos (aprox. 4 mil millones de dólares) a los entes territoriales para el sector de agua potable y saneamiento. En la Figura 2 se muestra las transferencias de SGP desde 1994.

**FIGURA 2. RECURSOS ASIGNADOS SGP 1994-2005 (MILLONES DE PESOS)**



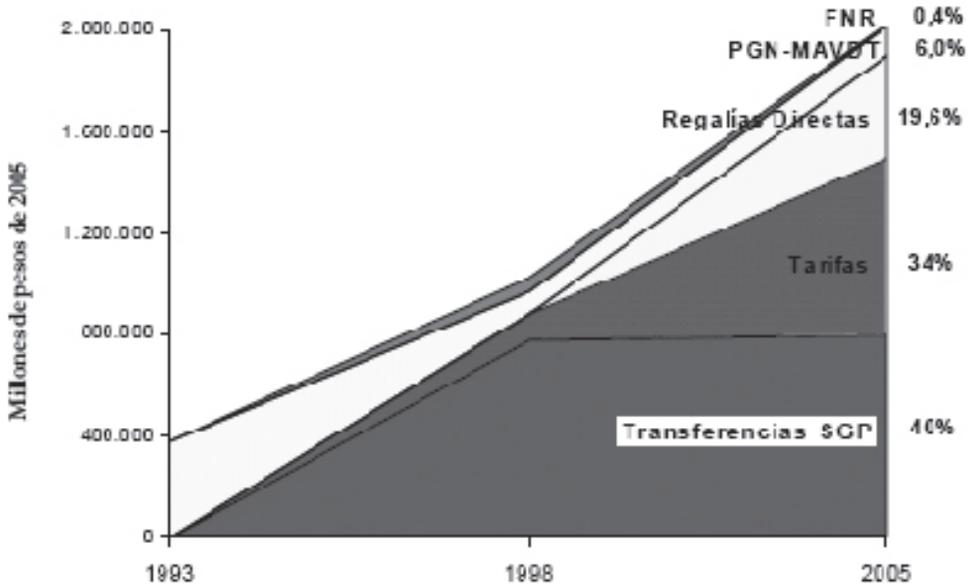
Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP)

<sup>6</sup> Pesos de 2005

Las transferencias del SGP representan aproximadamente el 40% de los recursos del sector, el 60% restante corresponde a las tarifas,

las regalías, y otros aportes de la nación. La evolución de la distribución de los recursos del sector se puede ver en la Figura 3 a continuación.

**FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE LAS FUENTES DE INVERSIÓN DEL SECTOR**



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (DNP)

La distribución de recursos del sistema general de participaciones varía de acuerdo con la región. Bogotá, por ejemplo, la región con la mayor cobertura, recibe la me-

nor cantidad de recursos per cápita. Los porcentajes y recursos per cápita asignados se presentan en la Tabla I a continuación.

**TABLA I. DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS DEL SGP (PESOS 2005)**

REGION	PORCENTAJE	RECURSOS PER CÁPITA
Atlántica	19%	15.664
Oriental	27%	26.382
Central	12%	16.89
Pacífica	10%	23.271
Bogotá	8%	8.961
Antioquia	12%	16.433
Valle del Cauca	7%	11.846
Orinoquía y Amazonía	4%	24.933

Fuente: INECON (2006) y Silva y Rozo (2005)

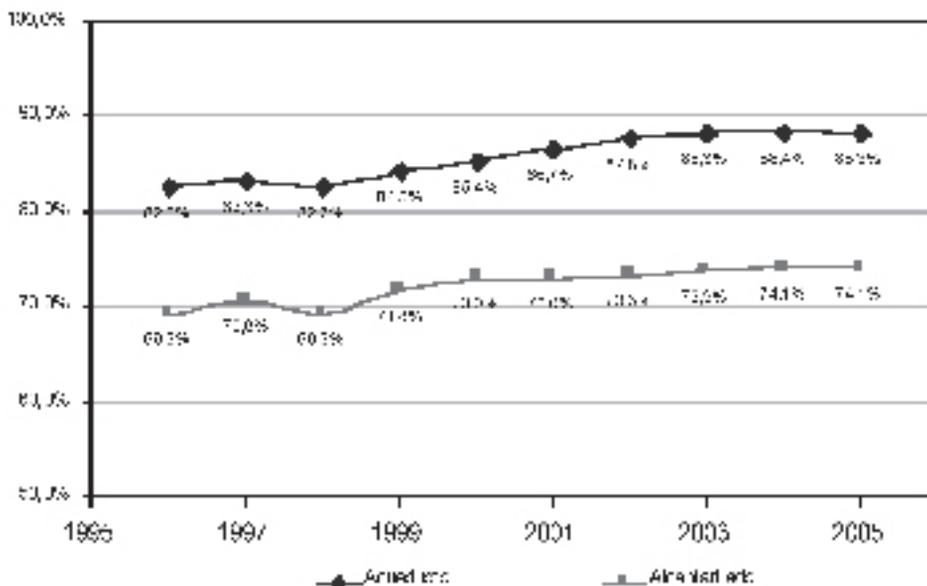
Asímismo, según el Departamento Nacional de Planeación (Silva y Rozo, 2005), durante el periodo 1994-2003, el 41% de los recursos del SGP se dirigieron a la construcción de infraestructura de acueducto y alcantarillado, mientras que el 4% se destinó a subsidios a la demanda.

### 3.4 COBERTURAS

Las coberturas de acueducto y alcantarillado han venido incrementando como consecuencia del fortalecimiento institucional, técnico y regulatorio que ha tenido el sector en la úl-

tima década. En términos agregados para acueducto y alcantarillado, la Figura 4 muestra cómo la evolución de la cobertura a nivel nacional ha mostrado una tendencia creciente y sostenida desde el año 1996. De hecho, para el servicio de acueducto el nivel de cobertura era de 82,8% en 1996 y de 88,3% en 2005. Para el servicio de alcantarillado la situación es bastante similar aunque el nivel de cobertura es inferior. Según se muestra en la Figura 4, el nivel de cobertura era de 69,3% en 1996 y de 74,1% en 2005.

**FIGURA 4. EVOLUCIÓN COBERTURAS ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, 1996-2005**



Fuente: DANE- Encuesta Continua de Hogares, Cálculos: DNP

Según estándares globales, los niveles de cobertura en Colombia son considerablemente más altos que los de otros países con condiciones económicas similares<sup>7</sup> (Banco Mundial, 2004). Sin embargo, existe un rezago importante en el sector rural, mientras que la cobertura de acueducto para el sector ur-

bano es del 98% (2005), la del sector rural es de sólo el 60%<sup>8</sup>. Adicionalmente, de acuerdo con el DNP (Silva y Rozo, 2005), se estima que los recursos asignados al sector en los últimos años deberían haberse reflejado en mayores coberturas. Bajo el supuesto de que los recursos ejecutados se hubieran destinado de

7 A excepción de Chile, la cobertura de acueducto es mayor que la de todos los países de ingreso medio y alto medio de Latinoamérica (Banco Mundial, 2004).

8 Sin tener en cuenta soluciones alternativas (Ej., pozos, piletas), sólo considera conexiones.

forma eficiente a infraestructura con impacto directo en las coberturas, la cobertura nacional debería ser del 100% en acueducto y del 95% en alcantarillado (Silva y Rozo, 2005).

El rezago en las coberturas rurales tiene que ver, entre otras cosas, con la estructura institucional del sector, en donde los responsables de la provisión de los servicios son los municipios que en la mayoría de los casos cuentan con capacidad institucional limitada. Adicionalmente, existen disparidades regionales, donde las coberturas son más bajas en las regiones más pobres del país.

Según el Banco Mundial (2004), con los porcentajes históricos de expansión de la cobertura en áreas rurales no se alcanzaría el acceso universal sino hasta dentro de 30 años.

Por lo expuesto, se puede concluir, que los resultados en relación con la expansión del servicio han sido mixtos, situación que se analizará en detalle más adelante.

### 3.5 ESTRUCTURA DEL SECTOR

Como ha sido señalado en varios estudios (CRA, 2006; Banco Mundial, 2004; y Silva y Rozo, 2005), una de las principales características del sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia es su alto nivel de atomización como consecuencia de los procesos de descentralización realizados a finales de los ochenta y de los cambios implementados en la década de los noventa por medio de la Constitución Política

y la Ley 142 de 1994. Estas nuevas responsabilidades modificaron el esquema de prestación de los servicios, pasando de un sistema centralizado a un esquema municipal, numeroso y bastante heterogéneo en el cual solamente una pequeña proporción de los prestadores son empresas especialmente organizadas para realizar la prestación del servicio público.

Se estima que en Colombia existen más de 12.000 prestadores que en su mayoría son pequeños y rurales (CONPES 3463, 2007). En el momento, se tienen registrados 2.244 prestadores ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) repartidos en 887 municipios, generando un promedio de 2.5 operadores por municipio. No obstante, las empresas más grandes atienden a más de dos tercios de los usuarios totales, es decir, que hay un gran número de empresas que prestan el servicio a una pequeña parte de la población.

En el año 2006, solamente el 44,5% eran operadores especialmente organizados para realizar la prestación del servicio público de acueducto y alcantarillado. El porcentaje restante se repartía principalmente entre Empresas Industriales y Comerciales del Estado (E.C.I.E) en un 28,3%, municipios como prestadores directos en un 12,1% y organizaciones autorizadas en un 10,4% (SSPD, 2006). Estos datos evidencian un rezago parcial en la consolidación de estructuras empresariales eficientes para la prestación del servicio.

## 4. ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL ESQUEMA DE PRECIOS Y FINANCIAMIENTO DEL SECTOR EN EL SERVICIO UNIVERSAL

El análisis de esta sección, pretende determinar las implicaciones del esquema de precios y de financiamiento sobre el servicio universal, desde la perspectiva de la eficiencia y la equidad. Así mismo, a partir del análisis se busca identificar los factores del esquema de prestación actual sobre los cuales se debe reflexionar sobre el impacto que tienen en el servicio universal.

### 4.1 ESQUEMA DE PRECIOS: ENFOQUE DE RECUPERACIÓN DE COSTOS

Como parte del análisis de impacto de la regulación tarifaria, la CRA contrató un estudio (CRA, 2007) para cuantificar la variación del bienestar de los principales agentes relacionados con los servicios de acueducto y alcantarillado a partir de la reestructuración de precios que se ha dado en el sector entre 1995 y 2005. Para el análisis se utilizaron las cuentas nacionales desde 1995 hasta 2005 del Departamento Nacional de Estadística (DANE). Específicamente, se utilizó de la siguiente información:

- Matriz de oferta de productos a precios constantes de 1994
- Equilibrios oferta utilización de productos precios constantes de 1994 (4 dígitos)
- Cuenta de utilización del ingreso disponible a precios corrientes
- Matriz de utilización de productos a precios constantes de 1994

- Matriz de utilización de productos a precios corrientes

A partir de esta información se utilizó una versión simplificada de la matriz de contabilidad social (MCS o SAM en inglés: "Social Accounting Matrix") a pesos constantes de 1994 para los años 1995 a 2005. La MCS es una matriz que representa el flujo de pagos entre los diversos agentes de la economía.

El análisis consistió en comparar dos escenarios: el escenario real y un escenario contrafactual. En el primer escenario, se buscó capturar el comportamiento que tuvieron los diferentes agentes de acuerdo con la situación de la economía reflejada mediante las matrices de contabilidad social de los años 1995 a 2005. En el segundo escenario, el contrafactual, se buscó capturar el comportamiento que hubiesen tenido los agentes para los años 1996 a 2005 si la CRA no hubiera desarrollado ni ejercido ningún tipo de labor regulatoria, es decir, si se hubiese continuado con el mismo régimen tarifario vigente en el año 1995 y no se hubiera adelantado una transición tarifaria. Lo cual habría implicado que las tarifas solo habrían cubierto el porcentaje de los costos observados de prestación (observados en 1995).

A partir del análisis se obtuvieron las variaciones entre los dos escenarios para el gasto de los hogares y el déficit de las empresas prestadores, tanto públicas como pri-

vadas. Para los hogares, se estima un aumento en el gasto en términos absolutos, para el periodo 1995-2005, de 3,3 billones de pesos de 2005 (aprox. 1.650 millones de dólares), o un incremento porcentual del 54%. En el caso del déficit de las empresas se observa una disminución del déficit de 8,3 billones de pesos de 2005 (aprox. 4.135 millones de dólares) o en términos porcentuales del 74%.

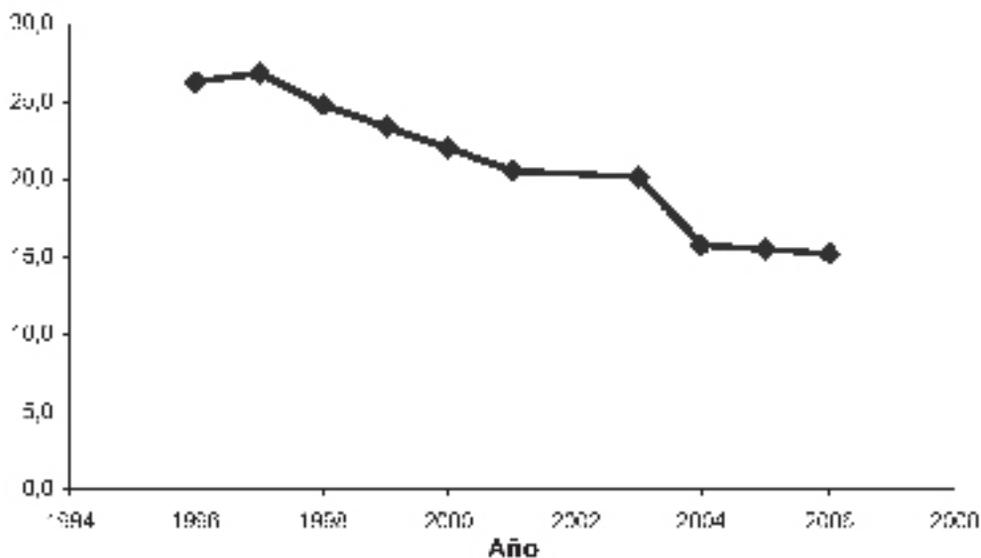
Aunque los resultados del análisis, no reflejan cambios en calidad o el número de usuarios, efectivamente sí reflejan la transformación del sector en términos de eficiencia asignativa, lo que se refleja en el balance positivo del bienestar total agregado.

La reestructuración tarifaria, que incluyó el desmote gradual de subsidios generalizados y la definición de tarifas orientadas a cubrir los costos de prestación, buscando la suficiencia financiera de las empresas y la sostenibilidad del sector en el largo plazo, ha resultado en aumentos sostenidos en los precios. En relación

con los usuarios, estos aumentos sostenidos en los precios han resultado en (1) una disminución importante del consumo, y (2) aumentos sostenidos en el gasto de los hogares. En relación con las empresas, estos aumentos han resultado en mayores ingresos, que a su vez se han visto reflejados en menores déficits.

Lo anterior ha implicado ganancias en eficiencia asignativa, y una ganancia neta de bienestar social. Sin embargo, el impacto sobre el excedente del consumidor ha sido importante, en particular sobre los usuarios con acceso al servicio en el momento en que se inició la reestructuración. Esto, debido a que los usuarios ya existentes (82% para acueducto y 69% para alcantarillado) han sido sujetos de incrementos importantes y sostenidos de los precios mientras que han disminuido sus consumos considerablemente (Ver Figura 5). De esta forma, las ganancias para este grupo de consumidores se han concentrado en las mejoras en calidad de servicio, que no son fácilmente cuantificables.

**FIGURA 5. CONSUMOS GRANDES CIUDADES (PROMEDIOS SIMPLES)<sup>9</sup>**



Fuente: *SUI y Boletín Estadístico No 1*, datos reportados por las empresas. Cálculos CRA.

<sup>9</sup> Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga

Ahora bien, como se ilustró en la Figura 4, las coberturas han mostrado una tendencia creciente, que ha resultado en un aumento de cerca del 7% para ambos servicios. Como consecuencia, parte del incremento en el gasto de los hogares corresponde al gasto de los nuevos usuarios.

Igualmente, los aumentos en cobertura se han dado en parte gracias a los nuevos recursos provenientes de las tarifas. Estos recursos han generado impacto no sólo la capacidad de inversión de las empresas, sino también su estabilidad financiera y por lo tanto su capacidad de planeación y endeudamiento. En particular, los nuevos precios han generado recursos de forma directa para las inversiones en expansión, a través del componente de costos de inversión que hace parte de los costos medios de prestación reconocidos en las dos metodologías tarifarias implementadas hasta el momento.

El componente de inversión representa, aproximadamente el 62% de la tarifa. De este porcentaje, parte se destina a inversiones en expansión y parte a reposición y rehabilitación. Ya que un porcentaje de la tarifa se destina a la expansión de coberturas, esto implica que existe un subsidio implícito entre usuarios existentes y usuarios nuevos o futuros.

La proporción del componente de inversión destinado a expansión no se conoce en detalle, ya que no se requiere categorizar las inversiones de forma explícita, esto pese a que las empresas deben presentar sus planes de inversión a la CRA. Más aún, los proyectos que van a expansión pueden ser para atender nueva demanda derivada de mayores consumos o nueva demanda asociada a nuevos usuarios.

Aunque en algunos municipios del país, en particular los más pequeños, la transición tarifaria no se ha dado en su totalidad, en la

mayoría de los municipios medianos y grandes se ha completado. El análisis de bienestar que se realizó, es un análisis del impacto de la reestructuración de precios que se inició hace un poco más de una década y que buscó igualar los precios a los costos de prestación. En este sentido, para el grupo que ha completado la transición, se puede anticipar que la estabilización de las tarifas va a estabilizar el gasto de los hogares en los servicios de acueducto y alcantarillado, y desde este punto de vista, no se anticipa en el futuro un cambio muy importante en el bienestar del consumidor. Cualquier cambio, se anticipa, debe derivarse de las ganancias en eficiencia por parte de las empresas y el sector, que el regulador debe procurar transferirlas a los usuarios, buscando ir minimizando la diferencia entre los costos medios de prestación y los costos marginales eficientes.

#### 4.2 ESQUEMA DE SUBSIDIOS CRUZADOS

Actualmente, los consumidores de servicios de acueducto y alcantarillado reciben subsidios de dos fuentes. Los usuarios de estratos 1, 2 y 3 reciben subsidios que se financian en parte con las contribuciones de los estratos 5 y 6 y usuarios comerciales e industriales y en parte con transferencias del gobierno central y otros recursos de los municipios. Así mismo, todos los suscriptores, en especial, los suscriptores de las regiones con menores coberturas y menores ingresos, reciben subsidios, generalmente en forma de transferencias para inversión en infraestructura.

Desde una perspectiva puramente económica, estos subsidios representan una pérdida irreparable en términos de eficiencia. Un análisis del Banco de la República (Medina y Morales, 2007) estima que la pérdida irrecuperable por los subsidios brutos en acueducto y alcantarillado podría ascender a US\$23 millones por año<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> La pérdida irrecuperable es de hecho una pérdida de la eficiencia porque el costo del subsidio es superior a la magnitud que los individuos estarían dispuestos a pagar por un cambio de precios que los dejase en el estado de bienestar antes de que los precios experimentaran una variación (Medina y Morales, 2007).

No obstante, los subsidios cruzados pueden generar impactos positivos en el bienestar, en especial en los sectores más pobres de la población, que podrían compensar los costos en eficiencia. En este sentido, se hace una aproximación muy gruesa para estimar el impacto en el bienestar del consumidor agregado, teniendo en cuenta el impacto en los usuarios subsidiados y en los usuarios residenciales contribuyentes.

El análisis se hace teniendo en cuenta que las contribuciones no cubren la totalidad de los subsidios, y que los aportes de los usuarios residenciales representan una proporción de los aportes totales. A partir de la información de facturación y de tarifas reportada al Sistema Único de Información se obtienen los precios y el consumo promedio por estrato para el año 2006.

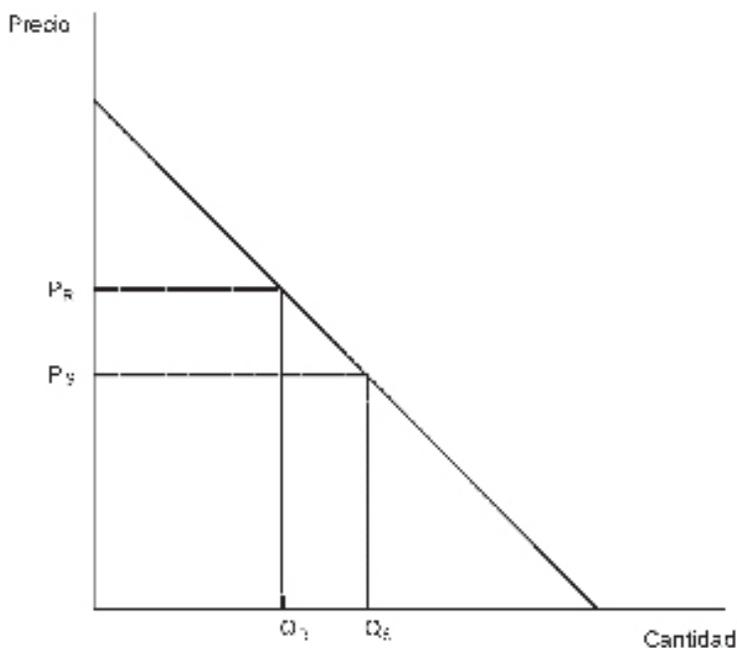
La estimación se realiza para los cuatro centros urbanos más grandes del país (Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla), considerando que es en las áreas urbanas donde se han dado los avances más importantes

en materia de precios y coberturas. El análisis se hace para el año 2006, ya que en el año 2005 terminó la transición tarifaria.

Adicionalmente, la variación promedio en el excedente del consumidor se estima para cada estrato, y se multiplica por el número de usuarios del estrato correspondiente. Esto no es siempre posible pues el número de usuarios beneficiados no siempre se conoce, y más aún no se conoce la magnitud de los subsidios otorgados a cada grupo. En el caso de Colombia, al menos para un grupo importante de empresas grandes y medianas se tiene información detallada sobre facturación y por consiguiente sobre los precios y consumos por estrato.

La Figura 6 a continuación ilustra la curva de demanda para el usuario de un estrato subsidiado. El precio  $P_R$  se refiere al precio de los servicios de acueducto y alcantarillado estimado a partir del costo medio de prestación establecido por la CRA, o el precio para un usuario de estrato 4.

**FIGURA 6. EXCEDENTE DEL CONSUMIDOR**



El precio  $P_s$  corresponde al precio subsidiado.  $Q_s$  y  $Q_R$  son las cantidades consumidas para los precios  $P_s$  y  $P_R$ , respectivamente. De esta forma, la variación en el excedente del consumidor para un usuario subsidiado corresponde al área expresada mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta EC_S = (P_R - P_S)Q_S - 1/2(P_R - P_S)(Q_S - Q_R) = \Delta P Q_S - 1/2 \Delta P \Delta Q \quad (1)$$

Asumiendo que se conoce la elasticidad del precio de la demanda, la ecuación 1 se puede reescribir así:

$$\Delta EC_S = \Delta P Q_S - \frac{1}{2} \sum \Delta P^2 \frac{Q_S}{P_S} \quad (2)$$

Igualmente, la variación en el excedente del consumidor para los usuarios contribuyentes se estima a partir de la variación del precio y la cantidad entre los precios de re-

ferencia y los precios con contribución. La variación en el excedente del consumidor para los usuarios contribuyentes se representa mediante la siguiente expresión:

$$\Delta EC_S = \Delta P Q_C + \frac{1}{2} \sum \Delta P^2 \frac{Q_C}{P_C} \quad (3)$$

Donde  $P_C$  es el precio con contribución y  $Q_C$  es la cantidad consumida a este nivel de precio.

utilizada para cada estrato, y que está por fuera del alcance de este análisis estimarla, se estima el excedente del consumidor utilizando elasticidades de entre -0,1 y -0,5. Así mismo, ya que los consumos promedio de todos los estratos subsidiados para las cuatro ciudades analizadas están por debajo de 20 m<sup>3</sup>, se asume un precio lineal para los usuarios subsidiados. Los resultados se presentan en la Tabla 2 a continuación.

En Colombia, los diferentes estudios que han analizado la demanda de agua residencial han estimado la elasticidades de precio en el rango entre -0,1,5 y -0,5 (Medina y Morales, 2007). Teniendo en cuenta que los resultados van a variar de acuerdo con la elasticidad de la demanda

**TABLA 2. VARIACIÓN EN EL EXCEDENTE DEL CONSUMIDOR AGREGADO ASOCIADO A LOS SUBSIDIOS CRUZADOS (MILLONES DE PESOS)**

ESTRATO	BARRANQUILLA	BOGOTÁ	MEDELLÍN	CALI
Subsidiados	(9.763, 11.129)	(59.465, 71.190)	(33.736, 39.053)	(3.672, 5.956)
Contribuyentes	(-8.579, -7.952)	(-53.259, -48.686)	(-28.665, -26.338)	(-9.122, -8.731)
Total	(1.234-3.177)	(6.206-22.504)	(5.071-12.715)	(3.672-5.956)

Como se puede ver en la Tabla, independiente de la elasticidad (en el rango entre -0,1 y -0,5), la variación del excedente agregado para los usuarios subsidiados es positiva, y representa una ganancia, mientras que para los usuarios contribuyentes en negativa y repre-

senta una pérdida. Por consiguiente, la variación en el excedente del consumidor agregada es positiva, lo que sugiere que las ganancias de los estratos más pobres superan a las pérdidas entre los usuarios de mayores estratos.

En términos agregados, se puede ver que la variación del bienestar del consumidor que resulta comparar los precios de referencia y los precios subsidiados es positiva. No obstante, cuando se considera el impacto sobre el excedente del consumidor del usuario promedio de forma individual, salvo en el caso de Cali, las ganancias de los usuarios promedio de los estratos subsidiados son menores a las pérdidas de los usuarios promedio de los estratos contribuyentes. De todas formas, al conocer

el número de usuarios por estrato el impacto agregado ofrece una perspectiva más amplia.

Adicionalmente, se compara el esquema de subsidios cruzados actual con la alternativa de sólo utilizar transferencias directas a los usuarios de los estratos 1, 2 y 3 para que estos obtengan alivios equivalentes a los que se otorgan actualmente. Para esto se utiliza el modelo propuesto por Cremer et al (1998) y se ajusta a las particularidades del caso:

$$\Delta W = (1 + \lambda) \Delta EC_S + \Delta EC_C \quad (4)$$

El modelo asume que el efecto redistributivo se mantiene constante, y que la transferencia directa a los usuarios subsidiados tiene un costo de  $\lambda$ , que corresponde al costo marginal de los recursos públicos.

En este caso la variación en el bienestar social se limita a la variación en el bienestar del consumidor, esto porque se asume que no hay variación en las utilidades de las empresas. No se asume variación dado que déficit entre subsidios y contribuciones no se tiene en cuenta en el cálculo ya que sólo se considera la porción de subsidios cruzados en equilibrio, es decir los subsidios que equivalen a las contribuciones. Las empresas, salvo en el caso de concesiones en donde se especifique algún aporte, deben recuperar los costos de prestación, puesto no están en la obligación de hacer aportes para cubrir los subsidios. Sin embargo, en la práctica hay dificultades para cubrir el déficit, que serían similares en cualquiera de los escenarios considerados.

El costo de los recursos públicos puede variar entre 0,15 y 0,35 (Estache et al, 2001; Cremer et al 1998) para los países desarrollados. Este costo puede ser más alto para los países en desarrollo donde las instituciones son más débiles y más propensas a la corrupción. Teniendo en cuenta que el análisis se realiza en las cuatro ciudades más grandes del país donde existen ins-

tituciones más consolidadas que en municipios más pequeños se asume un costo de 0,35.

De esta forma, la variación del bienestar total agregado para un costo de fondos públicos de 0,35 (teniendo en cuenta el número de usuarios) para las cuatro ciudades analizadas en el 2006 podría variar, según la elasticidad, entre 28.558 y 59.876 millones de pesos. Si no se utiliza el bienestar agregado, suponiendo que por ejemplo que en el futuro se de una reasignación de los usuarios a los diferentes estratos, salvo para el caso de las elasticidades más bajas (-0.1 y -0.2) la variación es positiva para todas las ciudades. Para la suma de las cuatro ciudades la variación siempre es positiva.

Teniendo en cuenta que la expresión (4) proporciona una prueba simple de la eficiencia relativa del esquema de subsidios cruzados frente a la alternativa de transferencias directas, la variación positiva sugiere que los subsidios cruzados son un instrumento redistributivo más eficiente que las transferencias directas. Esto implica que el impacto en el bienestar asociado a la distorsión de precios es menor que el impacto asociado a las transferencias a través del sistema fiscal.

En el caso agregado, el resultado es positivo aún sin multiplicar las ganancias para los usuarios subsidiados por el costo de los fondos

públicos. Esto debido a que las ganancias se estiman de forma agregada, pues se conoce el número de usuarios para cada estrato. Más aún, si se tiene en cuenta que el número de usuarios de los estratos subsidiados es considerablemente mayor que el número de usuarios contribuyentes. Para las cuatro ciudades analizadas, los usuarios de los estratos 1, 2 y 3 representan más el 75% del total de usuarios residenciales.

Adicionalmente, la proporción que representa la tarifa de acueducto y alcantarillado basada en los costos medios de referencia en los ingresos de los hogares, disminuye con el estrato. Es decir, que cualquier cambio en los precios, va a tener un impacto más importante sobre los hogares de menores ingresos. El porcentaje que representan la tarifa de referencia (estrato 4) en los ingresos de los estratos subsidiados se presenta en la Tabla 3 a continuación.

**TABLA 3. PORCENTAJES DE INGRESO POR ESTRATO**

CIUDAD	ESTRATO	PORCENTAJE DE INGRESO
Bogotá	1	6,7%
	2	5,0%
	3	2,9%
Medellín	1	5,8%
	2	4,6%
	3	2,5%
Cali	1	5,2%
	2	3,8%
	3	2,2%
Barranquilla	1	4,9%
	2	4,2%
	3	2,3%

Fuente: INECON (2006)

Como se puede ver, el esfuerzo que tendría que hacer el estrato 1 en la ausencia de subsidios, para la mayoría de las ciudades, está por encima del 5%. En la práctica, se acepta que el porcentaje de ingreso destinado a los servicios de agua y saneamiento debería estar entre el 3% y el 5% (INECON, 2006).

#### 4.3 REFLEXIONES SOBRE EL SERVICIO UNIVERSAL

La transición tarifaria que buscó alcanzar un esquema de precios de recuperación de costos terminó en 2005. Según estimaciones de la CRA, este proceso representó una ganancia neta del bienestar social en términos de eficiencia. Al mismo tiempo, los subsidios cruzados se consolidaron ante las nuevas metodologías tarifarias, y para el año 2006 un ejercicio preliminar permite colegir que el esquema de subsidios

cruzados aplicado para las cuatro ciudades más grandes del país tuvo un impacto positivo sobre el bienestar del consumidor agregado.

Ahora bien, pese a que en general los esquemas adoptados han resultado en avances en el sector y que de acuerdo a estimaciones preliminares en impactos positivos sobre el bienestar, las coberturas todavía no son universales, y existen inequidades regionales y rezagos importantes en el sector rural. De la misma forma, los importantes recursos públicos que se han dirigido al sector no se han reflejado en las coberturas esperadas.

Expuesto lo anterior, a continuación se discuten algunos de los aspectos del esquema de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado que han podido limitar el impacto sobre el servicio universal.

#### 4.3.1 ESTRUCTURA DEL SECTOR

Los procesos de reestructuración tarifaria y la evolución de los recursos dirigidos al sector se han dado bajo el esquema institucional de descentralización en donde los municipios son los responsables de asegurar la prestación eficiente del servicio. En este sentido, y teniendo en cuenta la limitada capacidad institucional de muchos municipios y la politización local de los recursos, las descentralización ha generado obstáculos y desafíos para la eficiente ejecución de los recursos del servicio. Como se mencionó, muchos de los municipios no han llevado a cabo la transición tarifaria, y persisten subsidios insostenibles.

Adicionalmente, la alta atomización de la industria ha prevenido el aprovechamiento de las economías de escala propias de un sector como el de agua y saneamiento. La CRA ha estimado que existen economías de escala de largo plazo en los servicios de acueducto y alcantarillado<sup>11</sup>.

Buscando (1) aprovechar las economías de escala del sector, y (2) optimizar la asignación y ejecución de los recursos del sector, el Gobierno Nacional ha diseñado los Planes Departamentales de los Servicios de Acueducto y Alcantarillado como una estrategia de aglomeración del sector. El objetivo principal de esta estrategia es mejorar las coberturas y la calidad del servicio.

El efecto de la estrategia de aglomeración, que comenzó a implementarse en el año 2006, espera tener un impacto positivo sobre la obtención del servicio universal, buscando superar los problemas que se generan de la alta atomización del sector.

#### 4.3.2 SISTEMAS ALTERNATIVOS

De acuerdo con el Banco Mundial (2004), en Colombia existen normas técnicas restrictivas para el sector que previenen la im-

plementación de tecnologías innovadoras de bajo costo. Esto es particularmente relevante en el sector rural, donde existen los mayores rezagos, pues en algunos casos los sistemas convencionales no son sostenibles en el largo plazo o no son económicamente viables.

El reconocimiento y formalización de sistemas de prestación alternativos implica riesgos, pero puede convertirse en una alternativa más sostenible para alcanzar el servicio universal, en particular en las áreas rurales. Así mismo, los esquemas alternativos pueden beneficiar a los sectores más pobres y pueden beneficiarlos de forma más inmediata.

Aunque la regulación de esquemas alternativos de prestación puede tener implicaciones negativas, estas se pueden minimizar si se focalizan hacia los sectores rurales y se identifican los casos para los cuales representan la alternativa más económica. El aspecto de la sostenibilidad también es importante, ya que en muchas ocasiones la infraestructura se ha construido pero no está en servicio pues los costos operativos son muy altos, o existe capacidad técnica y operativa limitada.

La inclusión de esquemas alternativos puede tener un impacto igualmente positivo sobre el servicio universal, si éstos se focalizan a los casos adecuados. En este sentido, es importante recordar que la definición de servicio universal incluye la dimensión de calidad. Sin embargo, niveles de calidad muy altos involucran costos importantes que pueden limitar el acceso de los servicios a los más pobres. Consideraciones particulares inducen a pensar que se pueden definir estándares de calidad más bajos de forma transitoria, de forma tal, que se pueda sacrificar algunas dimensiones de calidad para viabilizar los esquemas alternativos.

<sup>11</sup> Mediante un modelo translogarítmico de costos variables se estimaron economías de escala de largo plazo (inverso de la elasticidad del producto ajustado por el factor semifijo de capital) de 1.39 para los servicios de acueducto y alcantarillado.

4.3.3 FOCALIZACIÓN DE SUBSIDIOS

De acuerdo con un estudio de Fedesarrollo (2004) los errores de inclusión y exclusión de los subsidios de los servicios acueducto y alcantarillado son del 51% y 0.7%, respectivamente. El error de inclusión implica que dado su nivel de pobreza, el 51% de los hogares que reciben subsidio no lo deberían estar recibiendo. En este sentido, este error se entiende como un desperdicio de recursos.

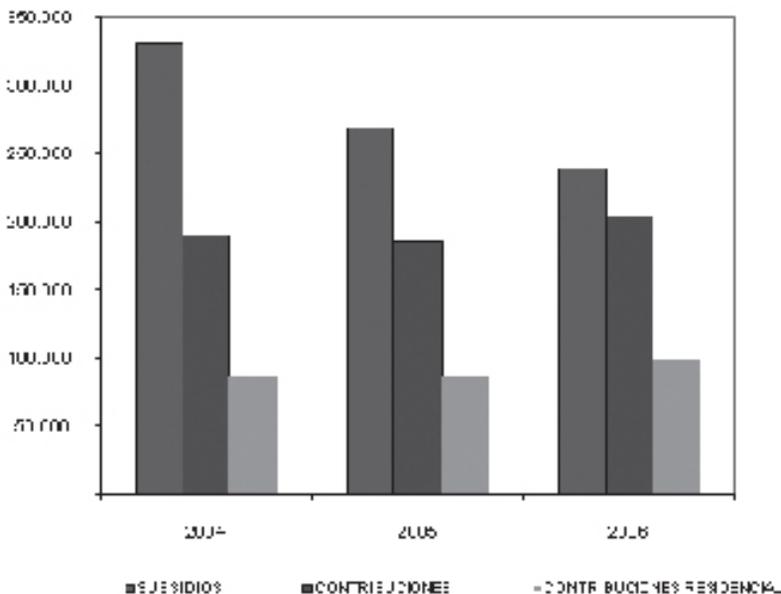
El esquema de subsidios cruzados se basa en la estratificación socio-económica de las viviendas. La estratificación es la herramienta para identificar y otorgar los subsidios y las contribuciones. De acuerdo con el estudio de Fedesarrollo, en la práctica esta herramienta no refleja adecuadamente el nivel de pobreza de los hogares, ya que pese a que las características físicas de las viviendas están correlacionadas con el nivel de pobreza, no constituyen por sí solas una explicación.

Otro problema identificado con el esquema de subsidios cruzados, es el del nivel

de consumo de subsistencia o básico que se subsidia. Actualmente, el rango de consumo básico se encuentra entre 0 y 20 m<sup>3</sup>, por encima de consumo promedio reportado por la mayoría de las empresas. Por ejemplo el consumo promedio mensual del estrato 1 en Bogotá es de cerca de 12 m<sup>3</sup>. Se estima que sólo con reducir el nivel de consumo básico, el déficit de los subsidios cruzados se podría reducir en un 20% (Banco Mundial, 2004).

Estos problemas de focalización asociados tanto a los usuarios como a los montos subsidiados, son aún más importantes si se tiene en cuenta que actualmente hay un déficit entre las contribuciones y los subsidios. Aunque este déficit, por lo menos en las grandes ciudades, ha tenido una tendencia decreciente (Ver Figura 6), debido al fin de la transición tarifaria y la redefinición de topes legales, es persistente y genera estrés sobre los recursos fiscales del sector y las empresas. Pese a que las empresas como tal no tienen la responsabilidad de asumirlo, éste se registra como una cuenta por cobrar, que no siempre es compensada por los municipios.

**FIGURA 7. DÉFICIT SUBSIDIOS-CONTRIBUCIONES 4 PRINCIPALES CIUDADES (MILLONES DE PESOS)**



Las ineficiencias y los problemas que muchos analistas han identificado en el esquema de subsidios cruzados y en particular de la herramienta de estratificación impactan de forma negativa el servicio universal. Esto, en el entendido en que se destinan recursos a subsidiar precios *accesibles* por debajo de la capacidad de pago de un grupo importante de usuarios, mientras que una proporción de la población no tiene acceso alguno al servicio y por lo tanto a los subsidios.

Actualmente, varios analistas han planteado la necesidad de reformar el esquema. Sin embargo, y dados los limitantes de las transferencias directas, los subsidios cruzados representan la segunda mejor alternativa para otorgar subsidios en el sector. De todas formas, y como varios estudios del sector lo evidencian, es necesario hacer ajustes en términos de sus propiedades de focalización para hacer el esquema más eficiente y así acelerar el acceso universal a los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia.

#### 4.3.4 METODOLOGÍA TARIFARIA

El régimen tarifario actual, se puede caracterizar como un esquema híbrido, que integra mecanismos de regulación por comparación y tasa de retorno. Los diferentes esquemas regulatorios pueden generar incentivos que afecten las decisiones de inversión de las empresas y así la eficiencia en los costos de capital. Los incentivos que pueden implementar los reguladores en relación con las inversiones pueden estar orientados a los productos (como la calidad del servicio), a los insumos (reducción de costos), o los dos. Las empresas pueden responder a estos incentivos, sobreinvertiendo, subinvertiendo o idealmente, invirtiendo eficientemente, es decir realizando inversiones al menor costo y manteniendo niveles de servicio adecuados.

Para asegurar un balance entre la eficiencia de los costos operativos y los costos de capital, Burns et al (2004) propone implementar aplicaciones de benchmarking o competencia por

comparación. Esto debido a que en esquemas regulatorios de precios, con revisiones periódicas, y donde los ingresos de las firmas están ligados a sus costos, se generan incentivos muy fuertes para reducir los costos operativos, y pocos incentivos para reducir los costos de capital. En particular, porque las empresas pueden disfrutar los beneficios de reducir costos de operación en el corto plazo, mientras que los beneficios de las reducciones en los costos de capital se tienden a ver más en el mediano o largo plazo, tiempo en el que la firma puede ajustar sus ingresos al nuevo nivel de costos.

Expuesto lo anterior, se puede ver cómo el esquema tarifario actual, en donde se aplican mecanismos de eficiencia comparativa únicamente al componente de costos operativos, puede generar incentivos a la sobreinversión. Efectivamente, en los análisis de los impactos en costos de la metodología de la Resolución 287 de 2004, se observa que cambios en los costos administrativos tendieron a compensarse, en promedio, con cambios en el componente de inversiones.

La CRA adelanta actualmente la revisión quinquenal de las bases del nuevo marco tarifario en donde busca incorporar criterios de eficiencia y optimización al componente de inversiones de los costos de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado. Si se tiene en cuenta que el componente de inversiones representa en promedio alrededor del 62% de los costos medios de referencia, cualquier mejora en la eficiencia de este componente resultará en menores tarifas y por lo tanto en menores requerimientos de subsidios.

Ahora bien, dado el rezago en la cobertura de tratamiento de aguas residuales (se estima que actualmente sólo se trata el 8% de las aguas residuales), las necesidades de inversión en este componente son muy importantes y plantean nuevas inquietudes en relación con los costos de expandir las coberturas, su impacto en las tarifas, y la capacidad de pago de los usuarios.

En este sentido, de alguna forma las mejoras en eficiencia en los costos de inversión muy seguramente, al menos en el mediano y largo plazo y en las ciudades grandes y medianas, vendrán acompañadas de nuevas necesidades de inversión en el componente de tratamiento de aguas residuales, y de esta forma será importante determinar los esquemas de precios y de financiamiento cercanos al óptimo.

Finalmente, teniendo en cuenta que la regulación debe buscar la eficiencia asignativa y productiva, la teoría económica sugiere que los precios se deben fijar según los costos marginales de producción. La idea es que el costo marginal representa el costo de producir una unidad adicional de un producto o servicio, y por consiguiente representa los recursos que la sociedad debe asignar a la producción de ese producto o servicio. En sectores como los de acueducto y alcantarillado, fijar precios de acuerdo con los costos marginales es difícil pues existen economías de escala, debido a los altos niveles de inversión. Por lo tanto, los precios derivados de costos marginales son inferiores a los costos totales de prestación.

Los precios se pueden fijar utilizando costos medios para asegurar que las empresas recuperen los costos totales, pero se corre el riesgo de fijar precios muy altos en relación con los criterios de eficiencia. El impacto en la eficiencia va a depender, entre otras cosas, de la diferencia entre los costos medios y los costos marginales (Chavez et al, 2002).

El esquema tarifario actual establece que el costo de las inversiones hace parte del componente variable de la tarifa, es decir del componente asociado al consumo y el componente del cargo fijo está asociado a los costos administrativos. Esta definición hace difícil establecer la relación entre costos marginales de corto plazo, costos marginales de largo plazo y costos medios, al desligar los precios de la definición natural de los costos. Es también probable que se puedan generar mayores distorsiones a los precios y que sea difícil medir estas distorsiones, ya que se hace más complejo determinar en qué proporción se subsidian los diferentes componentes de costos y definir los precios óptimos de referencia.

## 5. CONCLUSIONES

Desde hace más de una década, Colombia ha adoptado esquemas de precios y de financiamiento para los servicios de acueducto y alcantarillado buscando un balance entre la sostenibilidad del sector y la equidad. El acceso universal se ha entendido como la permanente expansión de las coberturas mediante sistemas que compensen la insuficiencia de la capacidad de pago de los usuarios.

El esquema de precios ha incluido la definición de costos medios de referencia a partir de los cuales mediante un esquema de subsidios cruzados se establecen tarifas asociadas a la estratificación socio-económica de los usuarios. La definición de precios a partir de los costos de prestación ha resultado en ganancias netas en eficiencia asignativa y del bienestar social agregado. Adicionalmente, al fin de la transición de precios, se estima que el esquema de subsidios cruzados, aunque con algunas ineficiencias, tiene efectos positivos sobre el bienestar agregado de los usuarios al ser las ganancias de los usuarios subsidiados mayores a las pérdidas de los usuarios contribuyentes. De la misma forma, un primer ejercicio sobre la eficiencia relativa del esquema de subsidios cruzados, sugiere que los subsidios cruzados pueden ser un instrumento redistributivo más eficiente que las transferencias directas.

No obstante, muchos de los avances del sector se han concentrado en las áreas urbanas, el acceso al servicio todavía no es universal, exis-

ten inequidades regionales y rezagos importantes en el sector rural. Así mismo, dado el grado de atomización del sector el flujo constante de recursos públicos no ha generado los impactos en las coberturas esperados, en particular en los municipios con capacidad institucional limitada y prevalecía de usuarios de bajos recursos. En muchos de estos municipios no se ha llevado a cabo la transición tarifaria y el manejo de los recursos públicos ha sido ineficiente.

Según Laffont (2005), el debate en relación con las políticas de servicio universal en los países en desarrollo se da alrededor de dos temas clave: la forma de extender la cobertura, y al diseño del esquema precios. Colombia parece haber resuelto parte importante del debate en estos dos temas, sin embargo, factores de tipo institucional y estructural generan importantes desafíos. Así mismo, existe la necesidad de realizar ajustes de carácter regulatorio en la definición de costos de referencia y de superar las ineficiencias del esquema de subsidios cruzados y sus propiedades de focalización. Lo anterior expone asuntos que sería importante analizar desde el punto de vista de la investigación académica y de la práctica política. En particular, es necesario profundizar sobre la medición del impacto sobre el bienestar de las políticas de subsidios cruzados. Así mismo, sería importante ahondar sobre las implicaciones prácticas de la definición de precios óptimos bajo las consideraciones que supone el acceso universal a los servicios.

## 6. REFERENCIAS

- Ballance T., Taylor A., 2005. *Competition and Economic Regulation in Water*. IWA Publishing.
- Bourguignon H., Ferrando J., 2007. *Skimming the other's cream: Competitive effects of an asymmetric universal service obligation*. *International Journal of Industrial Organization* 25, 761–790.
- Burns P., Riechmann C., 2004. *Regulatory instruments and investment behaviour*. *Utilities Policy*, 12, pp. 211–219.
- Chavez C.A., Quiroga M.A., 2002. *Regulatory schemes for water provision in theory and practice*. *Second Meeting on Tariff Reform in Urban Water Sector Reform*. Civil Aviation Authority (CAA), 2001. *Annex: Economic regulation and the Cost of Capital*. London.
- Chisari, O., Estache, A., Waddams-Price, C., 2003. *Access by the poor in Latin America's utility reform: subsidies and service obligations*. In: Ugaz, C., Waddams-Price, C. (Eds.), *Utility Privatization and Regulation: a Fair Deal for Consumers?* Edward Elgar, Northampton, MAS, USA.
- Clark, G., Wallsten, S., 2002. *Universal (ly Bad) Service: Providing Infrastructure Services to Rural and Poor*.
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2006. *Impactos Regulatorios en los Sectores de Acueducto, Alcantarillado Y Aseo*
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2007. *Consultoría para determinar el impacto del marco regulatorio en su conjunto, teniendo en cuenta la sostenibilidad, viabilidad y dinámica de los sectores de acueducto y alcantarillado y aseo, en los términos del inciso 2° del Artículo 13 del decreto 2696 de 2004*.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación, 2007. *Documento CONPES 3463: Planes Departamentales de Agua y Saneamiento para el Manejo Empresarial de Los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo*.
- Cremer, H., Gasmí, F., Grimaud, A., Laffont, J.-J., 1998. *The Economics of Universal Service: Theory*. The Economic Development Institute of the World Bank.
- Estache, A., Laffont, J.-J., Zhang, X.-Z., 2003. *Universal service obligations in developing countries*.
- Fedesarrollo 2004, "Subsidios al Consumo de los Servicios Públicos en Colombia: ¿Hacia dónde Movernos?" en el marco de la Misión de Servicios Públicos.
- Foster V., 2005. *Ten Years of Water Service Reform in Latin America: Toward an Anglo-French Model*. *Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series, Paper No.3*, World Bank.
- Heald, D., 1996. *Contrasting approaches to the 'problem' of cross subsidy*. *Management Accounting Research* 7, 53-72.
- Ingenieros y Economistas Consultores S.A., INECON, 2006. *Consultoría para la*

Elaboración de un Programa de Subsidios para el Sector de Agua Potable y

Saneamiento en Colombia” Informe Preliminar, Departamento Nacional de Planeación.

Laffont, J.-J., N’Gbo, A., 2000. Cross-subsidies and network expansion in developing countries. *European Economic Review* 44, 797– 805.

Laffont, J.-J., 2005. Universal Service Obligations in LDC. Regulation and Development. Federico Caffé Lectures.

Le Blanc, D., 2007. A Framework for Analyzing Tariffs and Subsidies in Water Provision to Urban Households in Developing Countries Division for Sustainable Development, United Nations.

Medina C., Morales F., 2007. Demanda por Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia y Subsidios: Implicaciones sobre el Bienestar. Banco de la República.

Organización Mundial de la Salud, 2004. Evaluación de los costos y beneficios de los mejoramientos del agua y del saneamiento a nivel mundial

Silva J-M, Rozo J., 2005. El Sistema General de Participaciones en el sector de agua potable y saneamiento básico. Planeación y Desarrollo, Vol XXXVII, Número 2.

World Bank, 2004. Colombia: Recent Economic Developments in Infrastructure (REDI).