

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA

**INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA
ADMINISTRACIÓN**



**TESIS DE MAGÍSTER EN DIRECCIÓN DE
EMPRESAS**

**“BENCHMARKING DE COSTOS DE
OPERACIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO”**

Autor: Ing. Curi, Elías Pablo

Directora: Dra. Mariana De Santis

Co-Director: MBA Martín Hunziker

Córdoba, 2010

INDICE

I.	Introducción.....	4
II.	Marco Conceptual.....	7
II.1	Introducción a los servicios públicos regulados.....	7
II.1.1	Competencia Perfecta y Monopolio	7
II.1.2	El monopolio natural	9
II.1.3	El caso de la distribución de energía eléctrica.....	10
II.2	La regulación de los servicios públicos.....	12
II.3	Composición de un estudio tarifario.....	14
II.3.1	Campaña de caracterización de cargas	15
II.3.2	Demanda.....	16
II.3.2.1	Pronósticos de demanda	16
II.3.2.2	Estudios de pérdidas en la red	16
II.3.2.3	Movimiento de energía y potencia	17
II.3.2.4	Costo de abastecimiento	18
II.3.3	Costo de Capital	18
II.3.3.1	El Costo de Oportunidad del Capital.....	18
II.3.3.2	El Costo de Mantenimiento del Capital.....	19
II.3.4	Costos de Explotación	19
II.4	Enfoques de cálculo de los costos de explotación.....	21
II.5	Benchmarking.....	24
II.6	Conceptos Básicos.....	27
II.6.1	Función de producción	27
II.6.2	Función de Costos	28
II.6.3	Eficiencia	29
II.6.4	Eficiencia y Productividad.....	33
II.7	Metodologías de Benchmarking.....	35
II.7.1	Metodologías de Evaluación de Eficiencia Existentes	36
III.	Fronteras de Eficiencia	38
III.1	Antecedentes en el estudio de fronteras de eficiencia.....	40
III.1.1	Farrel (1957).....	41
III.1.2	Huettner y Landon (1977)	41
III.1.3	Neuberg (1977).....	41
III.1.4	Weyman-Jones (1992).....	42
III.1.5	Pollitt (1995).....	42
III.1.6	Filippini (1996).....	43
III.1.7	Scarsi (1999).....	43
III.1.8	IPART (1999).....	43
III.1.9	Filippini y Wild (2000).....	44
III.1.10	Filippini, Wild y Kuenzle (2001)	44
III.1.11	Kwoka (2001).....	45
III.1.12	Jamasb y Pollitt (2001).....	45
IV.	Análisis de Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis – DEA)	46
IV.1	Introducción.....	46

IV.2	Formulación.....	47
IV.3	DEA en dos etapas.....	48
IV.4	Rendimientos de Escala.....	49
IV.5	Procedimiento Bootstrap en DEA	52
V.	Caso de estudio: Aplicación de la metodología DEA a los costos operacionales de las distribuidoras de Brasil	55
V.1	Costos operacionales - NT 265/2010- SRE/ANEEL.....	55
V.2	Costos Operacionales Eficientes	56
V.2.1	Aplicación metodología DEA	56
V.2.1.1	Base de datos	58
V.2.1.2	DEA - 1º etapa	59
V.2.1.3	DEA - 2º etapa	61
V.3	Resultados.....	67
V.3.1	Resultados ANEEL primera y segunda etapa.....	68
V.3.2	Análisis estadístico de las variables	69
V.3.3	Resultados DEA – 2º etapa.....	70
VI.	Aplicación de los resultados	80
VII.	Indicadores de gestión	84
VIII.	Conclusiones.....	91
IX.	Bibliografía.....	93

I. Introducción

La elección del tema del presente estudio de Tesis, a la vez de constituir una herramienta cada vez más difundida y aplicada en el mundo de los negocios, se enmarca en mi área de desarrollo profesional. La empresa donde trabajo es una consultora¹ especializada en servicios públicos regulados, que asesora empresas prestatarias de los mismos, como así también a los entes que regulan estos monopolios naturales.

Tal como se explica en los puntos subsiguientes, opté por un tema en este rubro que tiende a cubrir una necesidad cada vez más generalizada y recurrente de este tipo de organizaciones y en el mundo de los negocios en general.

Esto se debe, entre otros factores, a la marcada asimetría de información existente en la negociación entre empresas Distribuidoras y sus entes Reguladores (lo cual es una característica del tipo de mercado que representan), por lo que se torna muy importante el desarrollo de herramientas técnicas objetivas que permitan determinar los niveles de costos eficientes de manera justa y neutral. En tal sentido, en los últimos años se ha observado en el mundo un importante avance y una cada vez más generalizada aplicación de estudios de Benchmarking. Los mismos permiten estimar una función de costos con la cual evaluar la eficiencia de las empresas, al compararlas con otras similares y tomando en consideración tanto características propias de las mismas como así también de su área de concesión (mercado).

Es importante recalcar el papel fundamental que tiene una correcta determinación de los costos aprobados, los cuales son vitales para este tipo de empresas a efectos de poder mantener sus operaciones cotidianas y asegurar la prestación del servicio. Es un tema crucial y está constantemente presente en las agendas de los ejecutivos de estas organizaciones.

Si bien su determinación reviste mayores tecnicismos que los quizás necesarios en empresas que interactúan en mercados de competencia, esto se

¹ <http://www.quantumamerica.com/>

debe a que estas últimas se rigen en última instancia por el equilibrio propio de la interacción entre la oferta y la demanda, pero en aquellas empresas que son monopolios naturales regulados, es fundamental la aplicación de criterios sustentables y técnicos que aseguren que los resultados sean justos, adecuados y equitativos.

Como se indicó, los resultados de este tipo de estudios son de inmensa utilidad no solo para las empresas, sino también para el ente regulador y para el consumidor del servicio.

- **Para las empresas:** de gran utilidad en la gestión, dado que podrán compararse con el resto de las empresas participantes y de esta forma concientizarse acerca de su grado de eficiencia respecto a las demás empresas y, en consecuencia, poder tomar las decisiones necesarias para mejorar su posición en este ranking. También es útil para justificar y defender un nivel de costos de cara al ente regulador al momento de determinar sus tarifas. Esto es crucial para la marcha de los negocios de este tipo de compañías, para su sanidad financiera y para su viabilidad económica.
- **Para el regulador:** de suma utilidad dado que contará con un parámetro de eficiencia con el cual regular los costos operacionales de cada empresa de manera neutral, real, objetiva y consistente. Reduce el grado de asimetría de información respecto a otras técnicas y facilita la gestión y control de la regulación en lo concerniente a los costos objeto del Benchmarking.
- **Para el consumidor:** se beneficia dado que los costos aceptados por el regulador, y por ende componentes de las tarifas, serán fijados teniendo en cuenta parámetros de eficiencia según cada zona, haciendo que el mercado tienda a brindar un servicio sustentable y a un precio justo (objetivo central de los servicios públicos regulados).

El objetivo general del presente trabajo de Tesis es profundizar el conocimiento de las prácticas de Benchmarking que están siendo desarrolladas y aplicadas en el mundo para la determinación y justificación de los niveles eficientes de costos de operación de las empresas de servicios públicos,

mediante el uso de técnicas no paramétricas de Benchmarking en una primera instancia, avanzando luego hacia un esquema semi-paramétrico.

Específicamente, se estudiará en detalle el método no paramétrico de:

- **DEA:** Data Envelopment Analysis.

Mediante el cual se estima una envolvente de costos eficientes para un conjunto de empresas, de manera que éstas puedan determinar cuan eficientes son respecto al mercado en que operan y que el ente regulador pueda contar con una vara de medida de la eficiencia justa y objetiva.

Esta metodología se estudiará en profundidad analizando y efectuando contribuciones sobre el caso de Benchmarking de costos de operación de las empresas distribuidoras de Brasil, el cual es propuesto en primera instancia por su ente regulador, sobre la base de una metodología semi-paramétrica de DEA en dos etapas.

Asimismo, se incorpora un análisis simplificado de la aplicación de los resultados obtenidos y su efecto sobre la rentabilidad de algunas empresas, para identificar claramente la trascendencia que tiene la herramienta analizada sobre la marcha de los negocios de las mismas.

Finalmente, son aprovechadas las bases de datos utilizadas para la determinación de la DEA, para efectuar otros análisis de benchmarking, pero ya a nivel de ratios e indicadores que brindan comparaciones específicas de la situación de cada empresa relativas a una temática en particular, pudiéndose obtener informaciones de menor nivel agregado tanto para conocer el nivel de la empresa como para compararse con las demás compañías analizadas. Estos indicadores fueron consolidados en una herramienta de gráfico dinámico.

II. Marco Conceptual

II.1 Introducción a los servicios públicos regulados

En primer término se presenta el marco conceptual sobre el cual se desarrolla el tema del presente trabajo de Tesis. Se considera que, para lograr un correcto grado de asociación entre el caso estudiado y su entorno, es importante conocer el tipo y características del mercado en que se circunscriben y su regulación, de modo de comprender el trasfondo de la problemática que confiere importancia a este tipo de estudios, como así también, los distintos elementos que componen las tarifas de las empresas reguladas, para reconocer y cuantificar el impacto que tiene esta temática para el desarrollo de la actividad de distribución de energía eléctrica.

II.1.1 Competencia Perfecta y Monopolio

A los fines de dar introducción al tipo de mercado que regula la actividad, realizaremos un breve análisis de las dos formas de mercado que se definen como extremos opuestos. Estos son el mercado de Competencia Perfecta y el de Monopolio. Una introducción a estos conceptos fue abarcada en la materia Marketing I, los cuales se presentan reelaborados a continuación:

El mercado de **competencia perfecta** presenta las siguientes características:

- **Producto homogéneo.** El bien elaborado por una firma es exactamente igual que aquel elaborado por otra ante los ojos de los consumidores, que los consideran perfectamente sustitutos.
- **Multiplicidad de oferentes.** La cantidad producida por cada oferente en el total de la industria es lo suficientemente pequeña como para que no pueda modificar el precio de equilibrio.
- **Multiplicidad de demandantes.** La cantidad demandada por cada consumidor es pequeña en relación al total demandado, de tal manera que ninguno de ellos tiene poder de modificar de mercado.

- **Información perfecta:** la información sobre todas las variables relevantes del mercado (precio, cantidad, calidad, etc.) es de libre acceso y sin costo para todos los agentes del mercado.
- **Libre movilidad de bienes y factores de la producción.** Los productores pueden vender su producto en el lugar en el que puedan obtener el mayor precio posible y no tienen barreras legales o económicas para modificar el uso de los factores empleados en su actividad.

Las características mencionadas aseguran que el precio será único en el mercado. Como productores y consumidores están perfectamente informados y ninguno de ellos tiene poder de mercado, ningún consumidor estará dispuesto a pagar un precio mayor al vigente en el mercado, sabiendo que puede conseguir exactamente el mismo producto más barato si se lo adquiere a otro productor. De igual manera, en forma opuesta, ocurre con los productores

Los ejemplos de mercados competitivos no abundan en la vida real, con excepción de los mercados agrícolas. Sin embargo, su estudio es de fundamental importancia porque, como se mostrará a continuación, poseen propiedades deseables que los hacen un punto de referencia para evaluar el funcionamiento de las restantes formas de mercado y para proponer políticas. El caso de la regulación de los servicios públicos, de hecho, constituye uno de los principales ejemplos, pues la teoría que fundamenta la regulación está en gran parte basada en las propiedades de los mercados competitivos.

Por el otro lado, el **monopolio** es la forma de mercado opuesta a la competencia perfecta, cuyas características pueden resumirse en las siguientes tres:

- **Existe un único oferente del producto.** La oferta del producto está concentrada en un solo productor, el cual constituye la industria. El monopolista, en consecuencia, enfrenta la demanda del mercado y puede determinar las cantidades y el precio, razón por la cual se dice que es fijador del precio.

- **El producto es diferenciado.** El bien o servicio que produce el monopolista no tiene sustitutos próximos aceptables. El ejemplo clásico de producto diferenciado es el los servicios públicos.
- **Existen barreras a la entrada de nuevas firmas a la industria.** En estos mercados la presencia de un único productor se explica por la existencia de barreras u obstáculos que impiden el ingreso de otras empresas. Estas barreras pueden ser técnicas, tecnológicas, legales o económicas. Se analizarán más adelante las barreras que rigen para los mercados de servicios públicos, las cuales son de tipo tecnológicas.

Cuando los costos unitarios son decrecientes, o bien las ventajas de diversificación de diferentes bienes y servicios persisten para niveles considerables de producción, en muchos casos resulta conveniente concentrar la producción en una única firma, porque redundaría en menores costos y mayores beneficios para la sociedad. Como se detallará más adelante, el caso de la distribución de energía eléctrica, es un típico ejemplo de **monopolio natural** sujeto a regulación.

II.1.2 El monopolio natural

Se dice que una industria constituye un monopolio natural cuando la forma más eficiente de organizar la producción es con un solo productor. Ello implica que una sola empresa puede producir la cantidad deseada a un costo menor que el costo total de dos o más empresas. En tales casos, la presencia de más de una empresa que emplee idéntica tecnología en el mismo mercado produciría inevitablemente un aumento de los costos medios y totales de producción, reduciendo de esta forma el bienestar social. Debido a que por razones de eficiencia económica se justifica que exista solamente un productor, se tiene entonces una situación de monopolio natural, donde conviene que exista este único productor (monopólico) con una regulación adecuada, para evitar el posible abuso de la posición dominante derivada de su condición monopólica.

Existen numerosos ejemplos de monopolio natural, especialmente en las industrias de los servicios públicos, las cuales producen bienes o servicios cuya cantidad y calidad impactan de manera considerable en el interés del público en general y que, además, se caracterizan por la necesidad de utilizar una red física de distribución geográfica.

II.1.3 El caso de la distribución de energía eléctrica

En la distribución de energía eléctrica el negocio central es la red, que consiste en prestar capacidad de distribución de energía. Las instalaciones de distribución de un sistema eléctrico están compuestas por redes de distribución de alta tensión^{2,3} (AT), transformación de alta a media (TAM), red de distribución en media (MT), transformación de media a baja (TMB) y red de distribución de baja tensión (BT).

Estas redes de distribución eléctrica se caracterizan por un uso intensivo del factor capital, una elevada relación entre costos fijos y variables, y altos costos hundidos. Además, al igual que otras industrias organizadas en redes, presenta economías de densidad. Siguiendo a Caves et al (1984), las economías de densidad se definen como la disminución en los costos unitarios a medida que se incrementa el volumen de electricidad distribuida, cuando la dimensión de la red se mantiene constante, entendiendo por dimensión a la longitud de las líneas tendidas⁴. Las economías de densidad implican que el costo medio de abastecer a los clientes en un área geográfica determinada, decrece cuando el número de consumidores atendidos se incrementa. Se

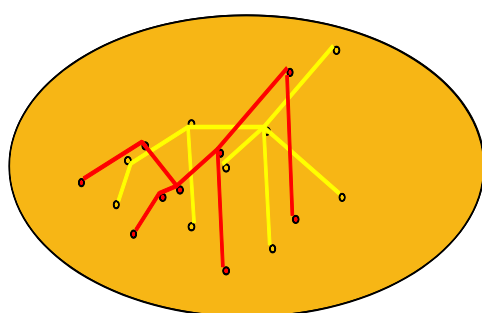
² Los niveles de tensión correspondiente a las diferentes denominaciones AT, MT y BT difieren ligeramente en los distintos países. En Argentina, por ejemplo, se utilizan los siguientes rangos:

- Ultra Alta Tensión (UAT) mayor de 500kV
- Muy Alta Tensión (MAT) mayor que 132kV hasta 500kV
- Alta Tensión (AT) mayor de 33kV hasta 132kV
- Media Tensión (MT) mayor de 1kV hasta 33kV
- Baja Tensión (BT) menor de 1 kV

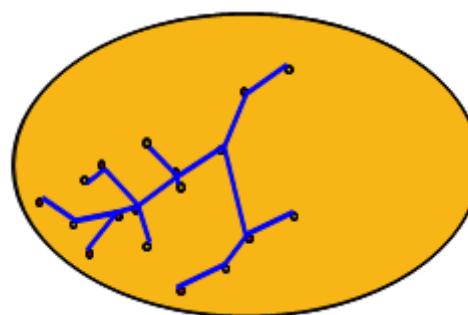
³ Si bien las redes de alta tensión (AT) se utilizan generalmente en sistemas de transmisión y subtransmisión, en las grandes ciudades es posible encontrarlas desempeñando una función de distribución.

⁴ Las economías de densidad deben distinguirse de las economías de escala, las cuales reflejan las economías o disminuciones en los costos unitarios que se logran al incrementar conjuntamente el volumen de electricidad distribuida y la dimensión de la red.

producen cuando en la red aumenta la cantidad de clientes en el área servida que cuenta con todo el tendido de la red. Al agregarse los nuevos clientes, solo es necesario construir las acometidas que los conectan a la red existente. De esta forma, el uso de la red aumenta, manteniéndose los costos totales prácticamente constantes. Además, el aumento de los clientes es acompañado de un incremento en el consumo que intensifica el uso de la red, con un mínimo incremento del costo total. La presencia de economías de densidad justificaría, desde el punto de la eficiencia técnica, darle a los distribuidores derechos exclusivos sobre alguna extensión territorial, procurando que las áreas de mercado que se les asigne a cada distribuidor no se solapen, con el fin de reducir costes de distribución totales en el sistema. Lo expresado anteriormente se ilustra en las figuras siguientes. En la primera, se muestran dos redes para abastecer a una misma área. Como se observa, en muchos tramos dichas redes se superponen, lo cual implica incurrir en duplicaciones de costos. Por el contrario, en la segunda figura se representa la misma área atendida por una única red, aprovechando las economías de densidad.



Dos redes superpuestas



Misma red con economías de densidad

Las figuras muestran gráficamente la economía (en kilómetros de tendido de red) que se genera al brindar el servicio por medio de un único oferente. Siendo que los costos de los activos involucrados en la prestación del servicio forman parte de las tarifas que se cobran por los mismos, se observa claramente que la industria de distribución de energía constituye un monopolio natural, pues si existiesen muchos oferentes, coexistirían muchas líneas de

distribución por la misma calle, lo cual implicaría multiplicación de costos fijos, una malversación de recursos y las consecuentes mayores tarifas para un mismo servicio.

II.2 La regulación de los servicios públicos

En el punto anterior se pusieron de manifiesto las razones que justifican la existencia de monopolios naturales, como así también la necesidad de instituir entes que regulen su actividad y la legislación que la reglamente.

Por tal motivo, donde exista un monopolio natural seguramente encontraremos una contraparte que lo regula. En el caso de la distribución eléctrica, las distintas distribuidoras tienen asignadas determinadas áreas de concesión, perfectamente delimitadas, las cuales pueden corresponder a territorios provinciales o regionales. Por la otra parte, el ente regulador puede ser centralizado en un único ente regulador para cada país, que tenga a cargo el control y regulación de todas las distribuidoras que operen en su territorio, o bien, distribuirse en forma federal a nivel de cada provincia o región.

Como se indicó previamente, las distribuidoras de electricidad son fiscalizadas por su ente regulador a los efectos de evitar abusos de su posición monopólica y asegurar únicamente el traslado a los usuarios, a través de las tarifas aprobadas, de aquellos costos que resultan estrictamente necesarios para la correcta prestación del servicio en cuestión. Esta relación se reglamenta generalmente en períodos que duran entre 4 y 6 años, donde al inicio se realizan estudios tarifarios en los cuales se fijan las tarifas para el período entrante en base a una revisión exhaustiva de las condiciones y costos del servicio, incluyendo un factor de eficiencia objetivo para cada año del período en que regirán las tarifas determinadas. Asimismo, las tarifas obtenidas contemplan un factor de actualización periódico para ajustarlas al desempeño de la economía donde están inmersas. Durante el período tarifario, se efectúan además otros controles de menor periodicidad, relativos a fiscalizar la calidad del servicio, el abastecimiento de energía y potencia, entre otros, de manera de

tener un mejor conocimiento de la evolución de los componentes tarifarios entre un período y el siguiente.

Como puede inferirse, esta relación es neurálgica en la negociación de intereses entre empresas, generalmente con fines de lucro, y entes reguladores que deben procurar la maximización del bienestar social. Podemos mencionar ciertos inconvenientes en el trato entre las distribuidoras y sus entes reguladores, que son fundamentales en la justificación de la relevancia de las metodologías analizadas en el presente estudio.

La característica más sobresaliente de la teoría moderna de regulación económica es el reconocimiento del papel central que desempeña la información en el proceso regulatorio. Desde esta perspectiva, el problema de la regulación se entiende, fundamentalmente, como un problema de control en un marco de asimetría de información entre el regulador y las empresas reguladas (Laffont, 1994)⁵. El ya mencionado problema de la información asimétrica se origina porque los prestadores del servicio conocen más de su propia gestión que sus entes reguladores, determinando que las decisiones del Regulador tiendan a estar fundadas en un conocimiento imperfecto de la situación, lo que puede condicionar su criterio y perjudicar su objetividad ante los usuarios u otros interesados.

Esta característica determina la necesidad de desarrollar metodologías de evaluación de la composición tarifaria del servicio que sean imparciales, objetivas, justas y basadas en la realidad del entorno socio político económico en que se encuentra cada distribuidora.

Una manera de reducir o mitigar el efecto de la asimetría en la información en los procesos de fijación de tarifas consiste en la aplicación de técnicas de eficiencia comparada o benchmarking, herramientas que brindan al regulador la posibilidad de mejorar la provisión de incentivos a las empresas reguladas⁶. Mediante el benchmarking se compara el desempeño del prestador

⁵ Laffont, Jean-Jacques (1994), "The new economics of regulation ten years after", *Econometría*, volumen 62, No 3, mayo.

⁶ Laffont, J. J. y Martimort, D. (2002) *The theory of incentives: the principal-agent model*, Princeton University Press, Capítulo 4.

de los servicios regulados con otros operadores, y simultáneamente puede evaluarse la evolución de la gestión de la empresa año tras año, estableciendo rangos que permitan fijar nuevas metas de eficiencia, de una forma más realista. Esta comparación permite también identificar al operador que posee mejores prácticas en sus costos, permitiendo a aquellos operadores menos eficientes imitarlos para mejorar sus servicios.

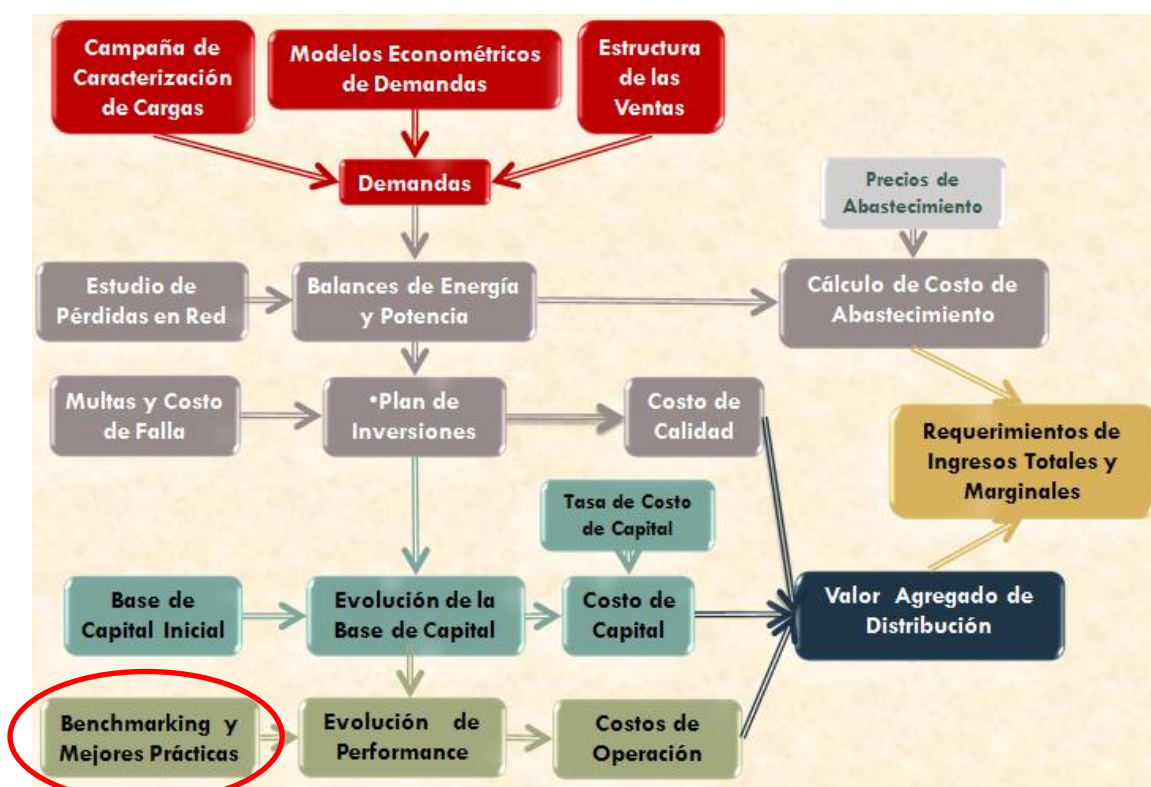
II.3 Composición de un estudio tarifario

En este inciso se expone de manera ejecutiva y gráfica, las distintas partes componentes de un estudio tarifario. El mismo es el cálculo consolidado que engloba el análisis de los costos en que debe incurrir una compañía para brindar el servicio, determinándose entonces el requerimiento de ingresos de la empresa regulada, que da origen finalmente a las tarifas económicas del servicio prestado. De este modo, se pretende contextualizar la relevancia que tienen los costos de explotación en la marcha de los negocios que desarrollan las distribuidoras de servicios públicos, mostrando la importancia de la metodología de benchmarking estudiada en la presente Tesis.

En términos teóricos y generales, en un estudio tarifario el ente regulador debe aprobar un monto de ingresos totales que resulten suficientes a la distribuidora, para abastecer la demanda cubriendo todos los costos y obteniendo una tasa de rentabilidad regulada, como beneficio por tal prestación. Generalmente, las distribuidoras prestan a sus clientes distintos productos y servicios, en diferentes proporciones, cuyos costos deben ser considerados por separado a fin de repartirlos de manera más equitativa entre los distintos usuarios. El análisis de los costos de distribución se organiza por actividad, tal como si fueran negocios independientes.

El siguiente diagrama ilustra los distintos estudios que, dependiendo de la regulación en cada caso vigente, deben desarrollarse para calcular el requerimiento de ingresos de las distribuidoras.

Etapas del cálculo del requerimiento de ingresos



A continuación se describen las tareas desarrolladas en cada etapa, como así también su utilidad y objetivos.

II.3.1 Campaña de caracterización de cargas

Su objetivo es relevar las curvas de carga que permitan identificar los hábitos de consumo de los clientes pertenecientes a las distintas categorías tarifarias que hacen uso de la red de distribución. Los parámetros generalmente calculados son:

- Porcentaje de Energía Consumida en horas de Pico (**kp**)
- Porcentaje de Energía Consumida en horas de Resto (**kr**)
- Porcentaje de Energía Consumida en horas de Valle (**kv**)
- Factor de Carga (**FC**)
- FCT_K^{BT} : Factor de coincidencia total de la categoría **k** con la máxima del nivel de Baja Tensión.
- FCT_K^{MT} : Factor de coincidencia total de la categoría **k** con la máxima del nivel de Media Tensión.
- FCT_K^{JUR} : Factor de coincidencia total de la categoría **k** con la máxima demanda de la Jurisdicción.

II.3.2 Demanda

II.3.2.1 Pronósticos de demanda

Siendo que los períodos tarifarios duran entre 4 y 6 años, es muy importante determinar las proyecciones de demanda de las diferentes categorías, para poder fijar adecuadamente las tarifas del período venidero. Esta proyección de las ventas en unidades físicas, clientes y energía, de cada una de las categorías generalmente se realiza utilizando modelos econométricos con variables explicativas independientes a la empresa como pueden ser el PBI y la población nacional, el Producto Bruto Geográfico (PBG); la población, el número de viviendas y las viviendas con energía eléctrica del área de concesión.

II.3.2.2 Estudios de pérdidas en la red

Se desarrollan estudios de red que determinan el porcentaje eficiente de pérdidas técnicas (pérdidas propias de los conductores, transformadores y demás componentes de la red, siendo una característica propia de la tecnología). Las pérdidas no técnicas eficientes (aquellas pérdidas debidas fundamentalmente al hurto o robo de energía), son definidas con otras

técnicas, como puede ser en el caso de la regulación brasilera, el uso de herramientas benchmarking⁷.

II.3.2.3 Movimiento de energía y potencia

II.3.2.3.1 Energía

Con la proyección de demanda de cada categoría y las pérdidas de energía por nivel de tensión se calcula la necesidad de abastecimiento de energía por nivel de tensión, hasta llegar al punto de suministro de la distribuidora. Además de ello, se calcula la inyección de energía necesaria por bloque horario (pico, resto y valle). Ello se realiza conociendo la venta de energía de las Grandes Demandas por bloque horario y aplicando los parámetros de consumo k_p , k_r y k_v a las ventas de las Pequeñas y Medianas Demandas.

II.3.2.3.2 Potencia

La demanda máxima de potencia se calcula por nivel de tensión sumando las potencias coincidentales de cada categoría tarifaria, obtenidas en la campaña de caracterización de cargas. Para las categorías de pequeñas demandas la potencia coincidental se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{coin_k^j} = FCT_k^j \times FPP_j \sum \frac{E_i}{FC_k \times 8760}$$

Donde:

$P_{coin_k^j}$: Potencia coincidental de la categoría k con la potencia máxima del nivel de tensión j.

E_i : Venta de energía al cliente i perteneciente a la categoría k.

FC_k : Factor de carga de la categoría k.

FCT_k^j : Factor de coincidencia total de la categoría k con el nivel de tensión j.

FPP_j : Factor de pérdidas de potencia del nivel j.

En forma similar se determina la potencia coincidental de las categorías con medición de potencia aunque, en la expresión anterior, directamente se

⁷ Nota técnica N° 271/2010 SER/ANEEL

conoce la demanda máxima de potencia del cliente, evitándose el uso del FC para determinar la potencia a partir de la energía observada.

II.3.2.4 Costo de abastecimiento

Los costos de abastecimiento contemplan los costos de compra en el mercado mayorista al que pertenece la Distribuidora. Asimismo incluyen los costos de transporte hasta las redes de la misma, con sus correspondientes pérdidas técnicas.

Estos costos deben ser transferidos en forma directa y en su exacta incidencia a los consumidores, a través de lo que se denomina Pass-Trough de los mismos, dado que la distribuidora cobra, precisamente, por el servicio de distribución de la energía, siendo que el costo de la energía y potencia compradas debe ser cancelado a generadores y transmisores.

II.3.3 Costo de Capital

El costo de capital (CK) es uno de los componentes más importantes de los costos de una empresa distribuidora. Se define, desde el punto de vista económico, como el costo de los recursos de capital, necesarios para la prestación de los servicios. El CK es la suma de dos componentes bien diferenciados:

1. El Costo de Oportunidad del Capital (COK)
2. El Costo de Mantenimiento del Capital (CMK)

II.3.3.1 El Costo de Oportunidad del Capital

El COK es equivalente a la suma de todas las retribuciones por uso del capital (intereses para los acreedores y beneficios para los accionistas) que hubieran podido obtener, en un año, en su mejor oportunidad alternativa de inversión de riesgo similar, los poseedores del capital puesto al servicio de la empresa regulada.

El capital necesario para prestar el servicio proviene de distintas fuentes, que pueden ser clasificadas genéricamente en acreedores y accionistas. Ambos grupos esperan ser compensados por su aporte de capital, a tasas

equivalentes al costo de oportunidad de invertir sus fondos en otras alternativas de riesgo similar.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, el COK se calcula como:

$$COK = BC * TCC$$

Donde:

BC: Base de Capital

TCC: Tasa de Costo de Capital

II.3.3.2 El Costo de Mantenimiento del Capital

El CMK por su parte es la suma anual requerida para sustituir los bienes de capital agotados (al final de su vida útil), durante el proceso de producción. El CMK se calcula como el monto anual requerido de ahorro para que puesto a una tasa igual a la tasa regulada, al cabo de la vida útil del activo haya acumulado el monto necesario para su reemplazo a nuevo. Su cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$CMK = BC \times FA, \text{ siendo } FA = \frac{TCC}{(1+TCC)^n - 1}$$

Donde:

FA: Factor de Amortización

TCC: Tasa de Costo de Capital

n: vida útil

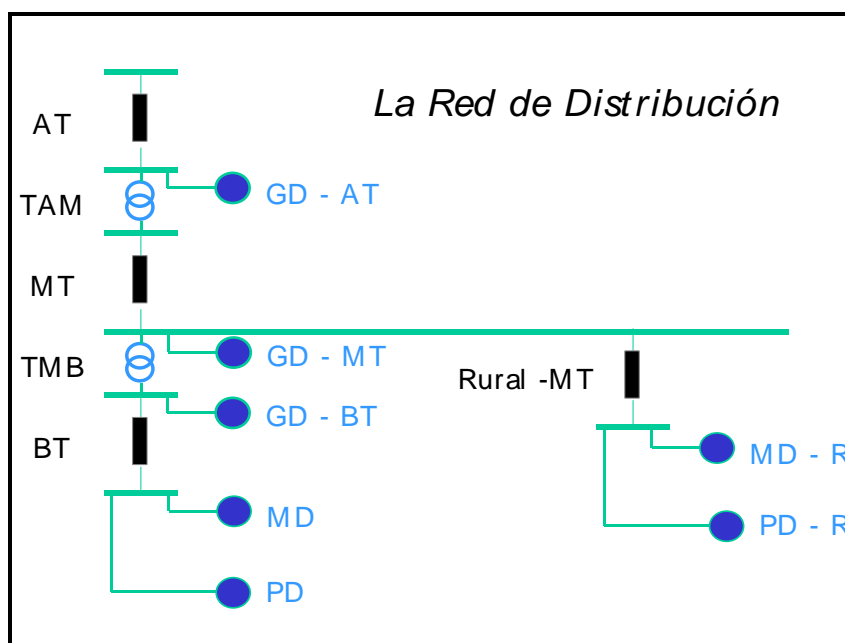
BC: Base de Capital

Obsérvese que el CMK resultante es diferente a las depreciaciones contables calculadas en forma lineal.

II.3.4 Costos de Explotación

Finalmente se introducen los costos de explotación, para entrar definitivamente en el tema específico de la presente Tesis. Los mismos representan los costos de Operación y Mantenimiento, que junto a los costos de Capital previamente descriptos, componen el Valor Agregado de Distribución (VAD) de cada distribuidora. Este VAD es la retribución que obtiene la distribuidora por brindar el servicio.

En el siguiente cuadro, se presenta un diagrama general de los diferentes **negocios de red**, que pone de relieve cómo se vinculan entre sí y con los diferentes clientes.



El **negocio de red** (*Wire business*) es el negocio esencial de una distribuidora eléctrica y donde concentra la mayor parte de su activo. El producto vendido es la capacidad de red para atender la demanda máxima de potencia. El mismo se divide por nivel de tensión como fue descrito anteriormente y considera todos los costos de operación y mantenimiento (reparaciones, cuadrillas de conexión, mantenimiento de las redes, poda de árboles, entre otros tantos). Por otra parte, se incluyen finalmente los servicios complementarios vinculados al negocio de red. Estos son:

- **Servicios al Cliente:** comprende los activos dedicados a las actividades de lectura, atención de reclamos técnicos, control de pérdidas no técnicas, mantenimiento y calibración de medidores, etc. Es necesario discriminar los costos de los servicios de clientela según las categorías puesto que no resulta equitativo, por ejemplo, cobrar el mismo monto por el servicio a un residencial que a un gran consumidor.

- **Administración:** Comprende todas aquellas actividades de dirección, administración y todos los servicios indirectos asociados a las mismas. Los servicios de administración se prestan a todos los demás negocios, con excepción de la comercialización de energía y potencia. Los costos correspondientes a la administración se distribuyen proporcionalmente a los montos de costos de los negocios de red y servicios al cliente.

Cada uno de los negocios considerados tiene sus propios activos y costos que serán reflejados en los cargos tarifarios a pagar por los clientes que se sirven de cada nivel de red.

II.4 Enfoques de cálculo de los costos de explotación

Para determinar los costos de explotación, el regulador puede adoptar diferentes criterios, los cuales dependen del marco regulatorio que rija la actividad en el área de actuación. En los sistemas regulatorios por incentivos, como es el caso de la regulación por price cap, se reconocen los costos de explotación compatibles con una gestión eficiente. A continuación se detallan los criterios generalmente empleados para establecer los costos de explotación considerados como eficientes en el cálculo de tarifas:

- **Costos reales.** Se toman los costos de explotación en los que la firma incurrió durante el último año del periodo tarifario anterior a la revisión. Dicho nivel de costos se considera eficiente porque se supone que la empresa realizó esfuerzos para disminuirlos durante las gestiones anteriores, como respuesta a los incentivos del marco regulatorio.
- **Costos Adaptados.** De acuerdo a este criterio, se determina una estructura organizacional considerada eficiente y conjuntamente sus correspondientes costos asociados. Es un criterio opuesto al de costos reales y generalmente adopta dos formas:
 - Top-Down. Este enfoque parte de una estructura que ya está funcionando para reducir los costos de la firma y acercarse a un nivel de costos acorde a una mayor eficiencia.

- Bottom-up o enfoque constructivo. Se basa en la construcción de empresas modelo, cuyos costos son considerados eficientes. Este enfoque, aunque atractivo desde un punto de vista conceptual, presenta la desventaja de que, al basarse en la construcción de una firma ideal o modelo, no tiene en cuenta las restricciones que deben enfrentar las empresas reales. Además, los resultados varían de acuerdo a los supuestos adoptados y están expuestos a innumerables juicios de valor de quien construye la empresa ideal.
- **Benchmarking.** Como se presentara en la de la materia Administración Estratégica, **Thompson y Strickland (2005)**⁸ en su página 135, el benchmarking es una herramienta que permite a una compañía determinar si la forma en la cual desempeña ciertas funciones y actividades representa una de las “mejores prácticas” en la industria en la que participa, tomando en cuenta tanto el costo como la efectividad. El mismo proporciona una evidencia sólida de la competitividad de costos de una compañía en su entorno y ha demostrado ser una herramienta poderosa para saber cuáles son las empresas que desempeñan mejor ciertas actividades y así poder utilizar sus técnicas (o “mejores prácticas”) para mejorar los costos y la eficiencia de la propia compañía. Esta metodología permite reconocer costos eficientes en base a técnicas de comparación con la misma empresa a lo largo del tiempo (*backward looking*) o bien con los costos de un conjunto de empresas, mediante el empleo de técnicas econométricas y/o no paramétricas, que serán presentadas en el punto siguiente, desarrollándose la metodología a ser empleada en el actual estudio. De esta manera, el regulador puede chequear la eficiencia de la firma con la de sus pares de manera coherente, objetiva, justa y neutral. En tal sentido, en los últimos años se ha observado en el mundo un importante avance y una cada vez más

⁸ Thompson y Strickland. (2005) “Administración Estratégica”

generalizada aplicación de estudios de Benchmarking, dado que los mismos permiten estimar una frontera con la cual evaluar la eficiencia de las empresas, al compararlas con otras similares y tomando en consideración tanto características propias de las mismas como así también de su área de concesión (mercado).

Como se adelantó en la Introducción, los resultados de este estudio son de gran utilidad no solo para las empresas, sino también para el ente Regulador y para el consumidor.

- **Para las empresas:** les permite contar con una comparación objetiva con sus pares y un mejor conocimiento de los resultados de sus prácticas de eficiencia. También es muy útil de cara a justificar y defender un nivel de costos determinado frente al ente regulador, al momento de determinar sus tarifas. El propósito también es aprender de los errores, no restringiendo los mismos a la propia experiencia, sino obtener evaluaciones comparativas de otras compañías, en la búsqueda constante de las “mejores prácticas”⁹.
- **Para el regulador:** le permite contar con un parámetro de eficiencia con el cual regular los costos operacionales de cada empresa de manera objetiva, neutral, real y consistente.
- **Para el consumidor:** se beneficia dado que los costos aceptados por el regulador, y por ende las tarifas, serán fijados teniendo en cuenta parámetros de eficiencia según cada zona, haciendo que el mercado tienda a brindar un servicio sustentable y a un precio justo, maximizando el bienestar social.

⁹ Koontz & Wehrich (2004) Administración. Una perspectiva Global.

II.5 Benchmarking

Según se define en el libro “Administración de Operaciones”, de Krajewski y Ritzman¹⁰, bibliografía de la materia Operaciones, el Benchmarking es un proceso continuo y sistemática para medir la calidad de los productos, servicios y procesos de una empresa, comparándola con la de los líderes de la industria. Las compañías usan este método para entender mejor cómo hacen las cosas las empresas más destacadas, con miras a mejorar sus propias operaciones. Los resultados son de gran utilidad para la fijación de metas y objetivos de rendimiento y para la determinación de planes de acción al respecto.

Como se expuso con anterioridad, se reconoce claramente la necesidad y utilidad de contar con herramientas y metodologías confiables e imparciales para la determinación técnica de los costos eficientes de operación de las empresas de servicios públicos, como lo son las distribuidoras de energía eléctrica.

De hecho, la determinación de la eficiencia ocupa un lugar prominente entre las responsabilidades típicas de los reguladores. Desde los años 90, un elevado número de reguladores de servicios públicos de todo el mundo, como parte de las reformas introducidas en la estructura de la industria y en la fijación de las tarifas, substituyeron el tradicional sistema de regulación por tasa de retorno (donde se reconocen los costos reales de las distribuidoras y una tasa de rentabilidad sobre los mismos para remunerar la actividad, con lo cual se promovía la sobreinversión y se generaba desinterés por la mejora de la eficiencia), por los esquemas basados en incentivos. El objetivo central de la regulación por incentivos es promover mejorías en la eficiencia de las industrias reguladas.

Si bien la regulación por incentivos puede adoptar muchas formas, la más común comprende la aplicación de algún tipo de regulación por precios

¹⁰ Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman. (2000) “*Administración de Operaciones*”

máximos (Price-cap). En la misma y cómo define en el libro de Coelli et al (2003)¹¹, se especifica la máxima tasa a la que pueden cambiar los precios regulados, luego de ajustar por la inflación, en un determinado período de tiempo, que usualmente se aplica entre 4 y 6 años. En la práctica, normalmente se fija una tasa igual a la tasa de incremento en el índice de precios al consumidor (IPC), menos un factor de productividad comúnmente designado como factor X. El valor de X generalmente está basado en la evaluación que el regulador hace del crecimiento potencial en la productividad de la empresa regulada.

Estimar el factor X es una tarea compleja dado que se supone que debe reflejar la medida en que la industria regulada puede mejorar su productividad más rápido que el resto de la economía en la que opera. Si la empresa puede mantener los incrementos de costos por debajo del incremento de precios permitido (IPC-X), puede embolsar la diferencia, y de este modo obtener ganancias extraordinarias, lo cual se convierte en un fuerte incentivo para mejorar su eficiencia. Asimismo, para determinar el factor X de una empresa no deben ser tomados en cuenta únicamente los desempeños pasados de la propia empresa, dado que ello anularía el incentivo involucrado. Es decir, si una empresa logra un crecimiento en su eficiencia del 4%, el regulador le asignaría un factor X del 4%, quitando todo incentivo a la empresa de mejorar su desempeño en el futuro, dado que ello conducirá a un factor X mayor en el siguiente período tarifario. Por lo tanto, es importante que el regulador use también información de fuentes externas.

En resumen, la determinación del factor X se basa generalmente en dos tipos de información:

- La tasa de crecimiento de la productividad de la industria analizada en los años recientes.

¹¹ Tim Coelli, Antonio Estache, Sergio Perelman e Lourdes Trujillo (2003) "Una introducción a las medidas de eficiencia para reguladores de servicios públicos y de transporte", Banco Mundial – Alfaomega Colombiana S.A.

- En qué medida cada empresa está operando por debajo de la mejor práctica de esta industria.

En este contexto y en términos generales, el *benchmarking* puede ser definido como la comparación de indicadores de desempeño de empresas reales respecto a un “*benchmark*” o referencia¹². En un estudio de *benchmarking* las empresas son consideradas como unidades de producción que transforman insumos en productos. El problema central es que el ente regulador generalmente no tiene la información correcta y/o suficiente para establecer si la cantidad de insumos empleada por las empresas reguladas para obtener un determinado nivel de productos es la mejor posible. Si los insumos son considerados en términos monetarios, es decir, si se trata de costos de producción, el regulador precisa de un criterio válido para definir si el costo en que una determinada empresa incurre es adecuado o si el mismo puede ser menor. Una manera de corregir esa asimetría de información antes descrita, es emplear datos de producción y costos de empresas de la misma industria para inferir el nivel de costos eficiente objetivo o alcanzable por una determinada empresa analizada, el cual será empleado en la determinación de sus tarifas.

La práctica de estudios de *benchmarking* en la regulación está presente en la mayoría de las regulaciones avanzadas del mundo. La regulación se sustenta cada vez más en los resultados de los estudios de *benchmarking*, ya que estos revisten robustez técnica y permiten al regulador tener una medición de la eficiencia con la que opera cada empresa. A partir de estos estudios de eficiencia, las metas de reducción de costos de cada empresa pueden ser fijadas con mayor precisión.

La aplicación de técnicas de *benchmarking* adquirió gran desarrollo en su aplicación internacional y, en la actualidad, se cuenta con una sólida comprensión de los principales indicadores de las mejores prácticas. Estas

¹² Jamasb y Pollitt (2001).

incluyen, por ejemplo, el uso de métodos de frontera, voluminosas bases de datos, uso de datos de panel y técnicas de *bootstrapping*¹³.

II.6 Conceptos Básicos

Para poder entender los modelos de estimación de eficiencia, es necesario introducir primero algunos conceptos básicos como son la función de producción, la función de costos, la frontera de producción y la frontera de costos. Luego se realiza un análisis comparativo de los conceptos de eficiencia y productividad.

II.6.1 Función de producción

Una función de producción indica, para una determinada tecnología existente, la cantidad máxima de producto que se puede obtener con un conjunto de insumos determinado, o bien, la producción total máxima que se puede alcanzar con distintos niveles de utilización de insumos¹⁴¹⁵.

Formalmente, la función de producción puede expresarse así:

$$P = P(L, K, M)$$

Ecuación 1

Donde P es la producción por unidad de tiempo y L, K y M son, respectivamente, las cantidades de los insumos: trabajo, capital y materias primas en esa misma unidad de tiempo.

Si para simplificar se supone que las materias primas guardan una relación constante con la producción, se puede definir una nueva variable $Q = P - M$, que representa el valor agregado por esa actividad, y puede describirse de la siguiente manera:

$$Q = Q(L, K)$$

Ecuación 2

¹³ Técnica de remuestreo estadístico de los datos de modo que se pueda generar una muestra de eficiencias, mejorando el poder comparativo del modelo.

¹⁴ Tim Coelli, D. S. Prasada Rao, Christopher J. O'Donnell and George E. Battese (2005), "An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis", Second Edition. Springer.

¹⁵ Delfino, José A. (2003) "Microeconomía. Principios básicos, aplicaciones y ejercicios". Segunda edición. Ediciones Eudecor.

La expresión anterior indica la máxima producción posible que puede obtenerse con diferentes cantidades de los insumos trabajo y capital.

II.6.2 Función de Costos

Los costos de producción son las remuneraciones a los factores de la fabricación que intervienen en el proceso productivo. Las posibilidades de producción a las que se enfrentan las empresas se representan por medio de relaciones físicas entre los insumos y el producto total, a través de la función de producción. Sin embargo, cuando la empresa determina el precio al cual vender los bienes producidos y calcula su beneficio, necesita expresar dichas relaciones en términos monetarios. Al vincular las remuneraciones de los factores con las cantidades producidas se obtienen las funciones de costos de producción, los cuales reflejan las propiedades y características de la función de producción de la cual provienen. Por esa razón, se dice que la teoría de los costos constituye una versión monetaria de la teoría de la producción.

Los costos de producción son las remuneraciones a los factores de la producción que participan en el proceso. El costo total de producción CT está dado por:

$$CT = wL + rK$$

Ecuación 3

A partir de la expresión anterior puede decirse, entonces, que el costo total de producción es la suma de las retribuciones al trabajo y al capital, dadas, cada una, por el precio del factor multiplicado por la cantidad del factor empleado.

El trabajo (L) y el capital (K) son las demandas óptimas, que dependen del salario (w), de la tasa de oportunidad del capital (r) y de la demanda del producto (por las economías de escala). Por lo tanto, la ecuación final se puede expresar de la siguiente forma, que es la expresión utilizada en el presente estudio:

$$CT = CT(w, r, Q)$$

Ecuación 4

II.6.3 Eficiencia

Los agentes económicos son optimizadores y, específicamente en el caso de las empresas con fines de lucro, maximizadores de beneficios. Este supuesto se condice con la metodología regulatoria que incentiva a las firmas a ser eficientes, estando en su poder seleccionar la tecnología a emplear, la cantidad y la proporción de insumos a contratar y, en consecuencia, el nivel de erogaciones en el que incurren, concurrentes a la maximización de sus beneficios totales. De esta manera, la maximización de los beneficios implica tanto la maximización del nivel de producción dados los insumos a emplear, como la minimización de los costos totales dado el nivel de producción a obtener.

La evidencia empírica, sin embargo, sugirió que no todas las empresas son exitosas para resolver los problemas de optimización que implican maximizar la producción o bien, minimizar el costo. Específicamente para las empresas de distribución de energía eléctrica, cabe preguntarse: ¿Son unidades optimizadoras? ¿Toman de entre todas las decisiones posibles en materia de producción y costos las más acertadas y convenientes?

Como se describe en Kumbhakar y Lovell (2000), en las negociaciones con los reguladores, estos interrogantes no son solamente una simple curiosidad, sino que se tornan cruciales a la hora de solicitar reajustes tarifarios, los cuales son por lo general resistidos, a menos que las firmas puedan probar que no pueden prestar sus servicios a un costo menor. Además, determinar si el nivel de costos de una distribuidora es acorde a las buenas prácticas de la industria o, si existe un margen potencial de reducción, resulta de vital importancia para fijar el factor X en los sistemas de regulación por *Price Cap*.

Cuando se trata de bienes transables, esto es, de aquéllos comercializados internacionalmente, los mismos precios proveen información sobre la calidad, la competitividad y el grado de eficiencia con que se desempeñan las empresas. Por el contrario, en el caso de los servicios públicos -bienes típicamente no transables-, los precios no permiten establecer

si las firmas del sector operan de acuerdo a las mejores prácticas y estándares internacionales, siendo necesario emplear técnicas de benchmarking. El benchmarking, un área de desarrollo relativamente reciente, comprende distintas metodologías de comparación de la performance o eficiencia de un grupo de firmas en un momento dado o a lo largo del tiempo, mediante la utilización de indicadores, funciones de producción o funciones de costos. El empleo de estas técnicas permite determinar, por ejemplo, si los costos de una empresa o conjunto de empresas se encuentran en el mismo nivel o superan los de empresas similares, así como también establecer un ranking de eficiencia que muestra la posición relativa de cada firma en el conjunto analizado.

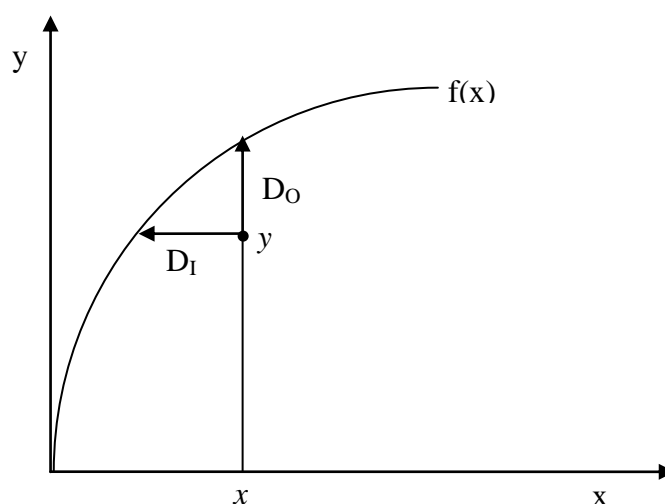
Existen numerosas técnicas o tipos de estudio de benchmarking, con distinto grado de profundidad, refinamiento y requerimiento de datos. Antes de tratar estas técnicas en detalle, es importante tener presente las características deseables que debe reunir la metodología a aplicar en una situación particular. Siguiendo a CEPA (2003), una metodología de benchmarking debería presentar las siguientes características:

- **Practicidad:** debe ser factible de ser aplicada con la información disponible.
- **Robustez:** los resultados deben mostrar cierta estabilidad ante cambios en los supuestos y métodos de estimación del ranking de eficiencia.
- **Transparencia y verificabilidad:** su aplicación debe ser transparente y fácilmente replicable, de modo que la aplicación de sus resultados en las negociaciones con el regulador sea lo más confiable posible.
- **Flexibilidad:** debe permitir incorporar las condiciones de la empresa y el mercado adecuadamente de manera de obtener resultados realistas.

- **Consistencia con la teoría económica:** debe reflejar las relaciones de comportamiento establecidas por la teoría económica para poder probar hipótesis.
- **Mínima carga regulatoria:** la carga sobre el regulador y las empresas reguladas en término de la recolección de los datos necesarios y la aplicación de la metodología debe ser la menor posible.

La eficiencia es un concepto relativo, pues se refiere a la medida o grado del éxito logrado en la consecución de un objetivo. En el caso de las empresas, se trata de determinar la eficiencia en la producción en relación al objetivo propuesto. Podría decirse que las empresas tienen el objetivo de evitar derroches, esto es, de alcanzar un determinado nivel de producción con la menor cantidad posible de insumos.

Además del objetivo perseguido por la firma, para medir la eficiencia es necesario también introducir el concepto de **frontera**. Para ello, es necesario retomar el concepto de función de producción, el cual establece que la función de producción representa las máximas cantidades de producto a alcanzar con una determinada cantidad de insumos. En la siguiente figura se presenta el caso de un producto y , que para ser obtenido requiere de un insumo x .

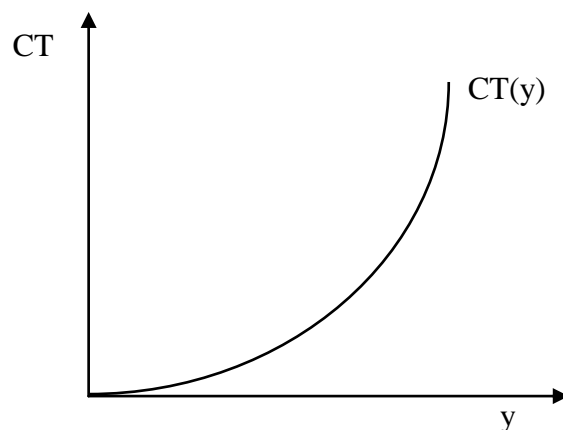


Frontera de Producción

Todos los puntos que se encuentran debajo o en el trazo de la función de producción son factibles de ser alcanzados y la función de producción $f(x)$ constituye la **frontera de producción**. El punto y representa una situación de ineficiencia, puesto que se encuentra por debajo de la frontera e implica que se podría obtener con una cantidad de insumos menor a x o bien, que con la cantidad x podría alcanzarse un nivel de producto mayor a y . A partir del punto y , es posible definir la función de distancia orientada hacia los insumos, D_1 , que indica cuánto es posible contraer el uso de x para situarse en la frontera de producción, así como la función de distancia orientada hacia el output o producto, D_0 , que indica en cuánto es posible aumentar el producto con la cantidad x del insumo.

Desde el punto de vista del enfoque dual, si además de la tecnología disponible representada por la función de producción, se incorporan al análisis el supuesto del objetivo de la minimización del costo y los precios de los insumos, puede definirse la **frontera de costos**¹⁶ como el mínimo gasto en el que se debe incurrir para obtener un nivel de producción determinado, dada la tecnología disponible y los precios de los insumos. La frontera de costos, representada en la siguiente figura, constituye el nivel de gasto de referencia a los fines de la comparación de los costos en que efectivamente incurren las firmas, las cuales se ubicarán por encima de la función o sobre la misma, en el caso de ser eficientes.

¹⁶ Para un análisis detallado de las propiedades de la frontera de costos, véase Kumbhakar y Lovell (2000).



Frontera de costos

II.6.4 Eficiencia y Productividad

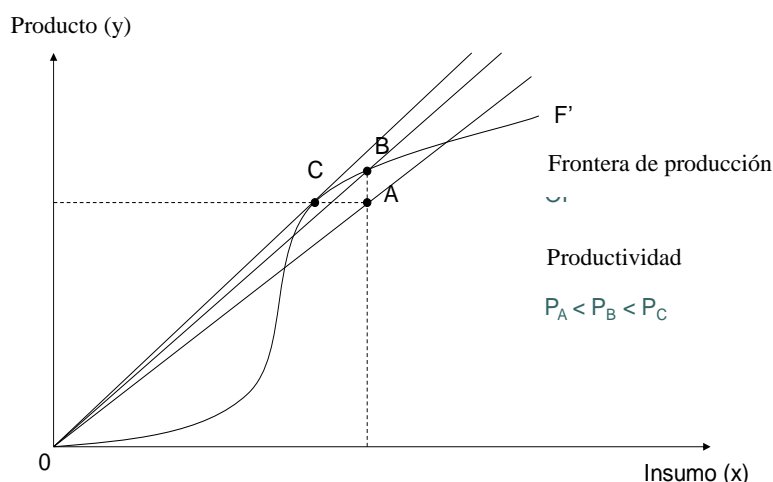
Cuando se compara el funcionamiento de las empresas, es común hacerlo en consideración a si son más o menos eficientes, noción que se encuentra estrechamente vinculada a la función de producción implícita en los indicadores de eficiencia y productividad, que es estudiada a seguir.

La **eficiencia productiva o económica** se define como la capacidad de la empresa para producir un determinado nivel de producto a un costo mínimo. Para alcanzar el costo mínimo, la empresa debe emplear sus insumos en forma eficiente (**eficiencia técnica**) y debe elegir la combinación de los insumos en forma óptima, dado el precio relativo de éstos (**eficiencia asignativa**).

En un nivel elemental, el concepto de productividad puede definirse como el cociente entre la cantidad de producto e insumo a emplear para una situación específica de producción. Para una empresa que utiliza un solo insumo para producir un solo producto, el cálculo de la productividad es sumamente fácil, en cambio, en los casos de empresas que utilizan varios insumos para producir varios productos, es necesario agrupar, como una suma ponderada, todos los productos en el numerador y todos los insumos en el denominador, de manera de continuar obteniendo la productividad como el cociente entre dos cantidades que están adecuadamente estandarizadas. En los resultados de productividad que pueden obtenerse en cada empresa,

influyen las diferencias en la tecnología de producción, en la eficiencia del proceso productivo y las diferencias debidas a variables exógenas, denominadas también variables ambientales (Pollit, 1995), que afectan la producción. Por lo tanto, para poder efectuar comparaciones entre empresas es necesario controlar por el nivel de producción, por el tipo de tecnología y por las variables ambientales. Para ello, el enfoque más adecuado es la estimación de la frontera.

Para ilustrar la diferencia que existe entre productividad y eficiencia se recurre a la siguiente figura:



Frontera de producción donde se muestra la diferencia entre eficiencia y productividad. La productividad está representada con los rayos desde el origen hasta el punto donde se localiza la firma. En cambio eficientes son todas las firmas que se localizan sobre la frontera.

La curva OF se conoce como la frontera tecnológica y representa las cantidades máximas de producto (y) que se pueden producir con una cierta cantidad de insumo (x). Por ejemplo, la empresa ubicada en B está sobre la frontera y por lo tanto le resulta imposible obtener más cantidad de productos manteniendo constante la cantidad de insumos que consume. Sin embargo, la empresa ubicada en A, podría aumentar la cantidad de productos manteniendo la cantidad de insumos consumida. La diferencia entre la empresa A y la empresa B es la eficiencia con la que usan los insumos y se podría decir que la empresa B es más eficiente que la empresa A, ya que la empresa B está ubicada sobre la frontera tecnológica. Como se explicó más arriba, la

productividad es el cociente entre la cantidad de producto y la cantidad de insumo utilizada y en la figura se representa como la pendiente de una recta desde el origen hasta los puntos A, B y C. Se puede observar en la figura que la productividad de C es mayor que la productividad de B, sin embargo, ambas son igualmente eficientes. Nótese que también se podría identificar un ejemplo en el cual una empresa presenta una menor productividad que otra pero que es más eficiente. En definitiva: la productividad es el producto medio, que no resulta comparable entre empresas al no tener en cuenta las diferencias en el nivel de producción y la eficiencia es la distancia a la función de producción.

Es de práctica habitual en las empresas, utilizar medidas de productividad parcial como son por ejemplo los clientes por empleado, los km de red operados por empleado, etc., que son útiles para monitorear la evolución de cada empresa pero presentan inconvenientes al ser comparadas con otras empresas.

La diferencia entre productividad y eficiencia es de especial importancia para el presente estudio ya que se dispone de una población heterogénea de empresas con respecto a la cantidad de productos generados. Se debe destacar que el tamaño de la empresa está principalmente definido por el área servida y a diferencia de las empresas de libre competencia, las empresas de servicios públicos tienen obligación de servir al mercado bajo determinadas condiciones, es decir, que la decisión de la escala óptima es exógena a la empresa y por ello resultaría injusto evaluar su productividad.

En conclusión, no se cree correcto realizar solamente una comparación de ratios de productividad parcial y se considera que el estudio debe focalizarse en mediciones de eficiencia.

II.7 Metodologías de Benchmarking

Como será detallado más adelante, existen diferentes metodologías de benchmarking, que se basan en la comparación de la performance actual de la empresa en cuestión con relación a su desempeño en el pasado, o bien con relación al desempeño de otras empresas del sector.

Asimismo, la realización de estudios de benchmarking promueve en las empresas la mejora de su performance en relación a empresas internacionales, además de proveer información útil a sus funcionarios, accionistas y usuarios.

En esta sección del presente estudio se trabaja sobre metodologías de Benchmarking, que permiten estimar los niveles de eficiencia de cada una de las empresas respecto al promedio y a la frontera, considerando el efecto de las variables exógenas explicativas de los mismos, tales como: longitud de líneas, cantidad de clientes y otras variables ambientales complementarias.

II.7.1 Metodologías de Evaluación de Eficiencia Existentes

Cuando se compara el funcionamiento de las empresas, es común hacerlo en consideración a si son más o menos eficientes, noción que se encuentra estrechamente vinculada a la función de producción implícita en los indicadores de eficiencia y productividad.

Como se había indicado, no se considera correcta la comparación de ratios de productividad parcial por lo cual es adecuado focalizar el estudio sobre mediciones de eficiencia.

Siguiendo los últimos desarrollos sobre estudios de comparación de eficiencia realizados por Reguladores y organismos académicos en diferentes países del mundo, se pueden identificar una variedad de métodos que pueden clasificarse en métodos de eficiencia media y de frontera, entre los cuales pueden mencionarse los siguientes:

- **Eficiencia Media**

- Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS)

- **Frontera**

- **No Paramétricos**

- Análisis de Envolverte de Datos (DEA)
- Productividad Total de los Factores (TFP)

- **Paramétricos**

- Análisis de Frontera Estocástica (SFA)

- Mínimos Cuadrados Corregidos (GLS)

Las metodologías de estimación de eficiencia media, parten del supuesto de que todas las firmas son entes minimizadores de costos, no existiendo la posibilidad de que éstas se ubiquen fuera de la frontera. El método más simple para estimar la eficiencia media es el de Mínimos Cuadrados Ordinarios, que permite calcular el nivel de eficiencia promedio de la industria estudiada.

Por el contrario, las metodologías de estimación de fronteras se basan en que no todas las firmas son capaces de tomar las mejores decisiones para minimizar los costos y, en consecuencia, no todas están en la frontera. El objetivo de estos métodos es estimar los mínimos costos de producción que definen la frontera y, a partir de ésta, determinar cuán lejos de la frontera está cada firma. Una de las metodologías de estimación de frontera más ampliamente utilizada es la DEA, la cual generalmente no considera efectos aleatorios atribuidos a variables ambientales o errores en los datos. No obstante, los últimos desarrollos de DEA proponen un enfoque semi-paramétrico de cálculo en etapas, para poder soslayar esta limitación. Por otra parte, a los efectos de tomar en consideración la incidencia de fenómenos estocásticos surge también la metodología de frontera estocástica (SFA). Esta consiste en estimar una función de costos considerando dos tipos de perturbaciones o errores: uno simétrico, que recoge un ruido aleatorio ocasionado por fenómenos estocásticos fuera de control, y otro no negativo que refleja la ineficiencia. Ambos métodos son ampliamente difundidos y aplicados en la regulación internacional.

III. Fronteras de Eficiencia

Las metodologías de fronteras se basan en los avances más recientes de la teoría microeconómica y la econometría en el campo de la eficiencia. Durante muchos años, los econométricos basaron sus estimaciones de funciones de producción y costos en el supuesto de que los empresarios son agentes maximizadores de la producción, dados los insumos, o bien, minimizadores de costos, dada la producción a obtener y el precio de los insumos.

Sin embargo, la evidencia empírica sugirió que no todas las empresas son exitosas para resolver los problemas de optimización que implica maximizar la producción o minimizar el costo. En otras palabras, no todas las empresas son técnicamente eficientes si no son capaces de minimizar el uso de insumos para generar la cantidad de producto deseada, dada la tecnología disponible. En consecuencia, no todas las firmas minimizan el costo necesario para llevar a cabo la producción deseada.

La respuesta de los economistas al problema arriba planteado fue el desarrollo del concepto de frontera. Así, la frontera de producción está definida por las mínimas combinaciones de insumos requeridas para alcanzar distintos niveles de producción, utilizando la función de costos, o bien, por el máximo producto alcanzable con diferentes combinaciones de insumos, dada la tecnología, utilizando la función de producción. Las empresas que se encuentran produciendo en la frontera son llamadas eficientes y las que se encuentran por debajo, ineficientes. El dilema aparece cuando hay que decidir qué función utilizar para medir la eficiencia, si la de costos o la de producción. La preferencia por una u otra depende de las circunstancias particulares relativas a temas como ser:

- **Nivel de producción:** Cuando la empresa tiene la posibilidad de optar por su nivel de producción, para maximizar sus ganancias, una función de producción es la mejor elección. Sin embargo, si la firma tiene "obligación de servicio", por lo que el nivel de producto será igual al que

demanden los clientes, la función más conveniente es la de costos. En el caso de la actividad de distribución de energía eléctrica, dado que la demanda a abastecer es una variable no controlable por la empresa debido a que en la mayoría de los casos las mismas tienen la obligación de suministro dentro de su área de concesión y por lo tanto el producto es un dato, resulta adecuado utilizar la frontera de costos.

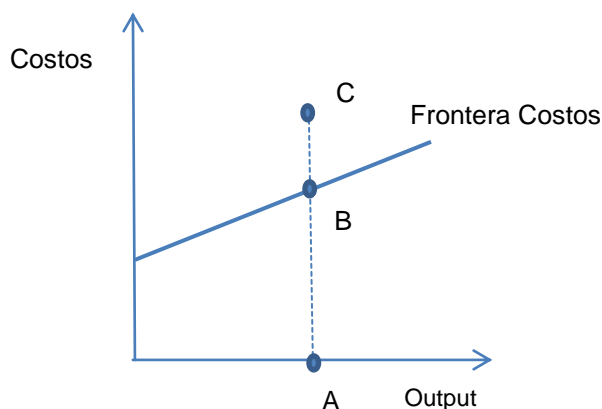
- **Las limitaciones de los datos:** Otra cuestión a tener en cuenta es la disponibilidad de los datos. El uso de una función de producción requiere información sobre la cantidad de unidades físicas de todos los insumos y productos, mientras que la función de costos precisa saber los precios y las cantidades de los insumos, resultando siempre más complejo conocer el precio de los insumos que la cantidad física. Siendo que los costos se disponen para las empresas, esta limitación puede ser descartada.

Por lo tanto, en este caso específico de medición de eficiencia de empresas distribuidoras de electricidad, la orientación de la frontera debe realizarse en función de los costos.

Las fronteras no son observables, por lo tanto la eficiencia se determina mediante fronteras empíricas. Se han desarrollado diversas metodologías para calcular la frontera y están siendo utilizadas por los reguladores en los procesos de revisión tarifaria de las empresas de servicios públicos en un gran número de países. Como se indicó previamente, las mismas pueden clasificarse en no paramétricas, y paramétricas.

En cada caso, la medida relevante de la eficiencia se define en función de las mejores prácticas posibles en un punto particular en el tiempo. Si una firma está funcionando en la frontera se define como eficiente; si está funcionando lejos de la frontera se define como ineficiente, y el nivel de la ineficiencia se mide en relación a la frontera (en el caso de una frontera de costos, las firmas ineficientes son aquellas que están por encima de la frontera). El grado de ineficiencia de cada firma se refleja a partir del “*Score de Eficiencia*”.

El siguiente gráfico ilustra un ejemplo simple de una frontera de costo, donde los costos totales mínimos se explican en función de una sola variable de producto. La firma B está funcionando en la frontera de la eficiencia, por lo tanto se considera que es 100% eficiente. Por el contrario, la firma C está sobre la frontera del costo, y es, por lo tanto, ineficiente. La eficiencia de la firma C es medida a través del cociente AB/AC , que es menor que uno. De esta forma, los scores de eficiencia se encuentran en un rango entre 0 y 1. En este caso, puesto que la comparación se mide en relación a una frontera de costos, la medida derivada de la eficiencia refleja la eficiencia económica total. En cambio, los scores de eficiencia que se calculan a partir de la frontera de la producción permiten reflejar la eficiencia técnica solamente.



Frontera de Costos. La eficiencia de la empresa C es medida a través del cociente AB/AC .

III.1 Antecedentes en el estudio de fronteras de eficiencia

En la literatura existe una amplia variedad de estudios de Benchmarking del área de distribución eléctrica. Se han revisado las referencias existentes dando principal atención a la caracterización de funciones de frontera (a través de una función de producción o una función de costo) y a la metodología de análisis empleada (metodología econométrica o de programación matemática). Raúl Eduardo Sanhueza Hormazábal (2003), en su tesis doctoral de *Fronteras de Eficiencia, Metodología para la determinación del Valor Agregado de Distribución*, realiza un breve resumen de los avances en estudios de

distribución de energía eléctrica, que es tomado de base en la descripción de antecedentes que se exponen a continuación.

III.1.1 Farrel (1957)

Fue el primero que proporcionó un modo de medir empíricamente la eficiencia productiva. Como el mejor comportamiento se desconoce, propuso considerar como referencia eficiente la mejor práctica observada que existe en la muestra y así calcular los índices de eficiencia, relativos a estas empresas que presentan el mejor comportamiento productivo. Las empresas que constituyen la mejor práctica componen lo que se denomina “frontera eficiente”. Para el caso de no conocer la función de producción, Farrel (1957) propuso la estimación de una frontera paramétrica empleando modelos de programación matemática. Fue la primera aproximación a un estudio de DEA.

III.1.2 Huettner y Landon (1977)

El estudio tiene el propósito de medir los rendimientos a escala de las empresas de servicios eléctricos. Se emplea una base de datos de la Agencia de Información de Energía de Estados Unidos que está compuesta de 74 empresas y que corresponde al año 1971.

El estudio concluye indicando la existencia de deseconomías de escala en las empresas de menor tamaño.

III.1.3 Neuberg (1977)

Este estudio estima la función de costo de la empresa de distribución con el propósito de comparar la eficiencia entre las empresas de propiedad pública y privada, así como sus rendimientos a escala. La muestra se compone de 189 empresas públicas y 182 empresas privadas de los Estados Unidos. El estudio propone una conceptualización de los factores que componen los costos de la actividad de distribución, caracterizado como una variable explicativa compuesta por la suma de: costos de distribución, que incluye la explotación y la mantención, costos de facturación y ventas y los costos de administración. Las variables explicativas sugeridas en el modelo son: número de clientes, energía total vendida, longitud total de líneas de distribución aéreas, área total de distribución, costo de capital, costo salarial y una variable

"dummy" (ficticia) para distinguir a las empresas públicas de las privadas. El autor, finalmente, concluye con algunas explicaciones especulativas de sus resultados de costo-eficiencia relativo y una discusión de implicaciones en las políticas de operación, en relación a que las empresas de propiedad pública presentan costos significativamente más bajos que las empresas de propiedad privada.

III.1.4 Weyman-Jones (1992)

Presenta dos estudios para medir la eficiencia relativa de doce empresas de electricidad regionales de Inglaterra y Gales en el período 1970 - 1971 a 1988 - 1989. El objetivo del estudio fue determinar una métrica que podría emplearse como base en la determinación de los factores de eficiencia X en una regulación Price Cap. En ambos estudios se emplea la metodología DEA con rendimientos variables a escala (RVE) con entrada orientada. El objetivo del primer estudio fue medir la eficiencia técnica de las empresas que permite los retornos variables a escala, y el objetivo del segundo estudio fue medir el costo global o eficiencia productiva (eficiencia técnica y eficiencia de asignación) controlando las variables medioambientales.

III.1.5 Pollitt (1995)

Examina la eficiencia del sector eléctrico al nivel de generación, transmisión y distribución con el objetivo de estudiar la relación entre eficiencia y propiedad; en particular si las empresas privadas son más eficientes que las públicas. Emplea una base de datos que relaciona empresas del Reino Unido y de los Estados Unidos. En el estudio, Pollitt estima que no es razonable hacer comparaciones de eficiencia entre empresas de diferente tamaño, por esta razón divide la base de datos en tres subconjuntos según el número de empleados (Pequeñas hasta 300, medianas hasta 1000 y grandes más de 1000 empleados).

En este caso, mide la eficiencia a través de un modelo DEA con entrada orientada y por una función de costo promedio.

III.1.6 Filippini (1996)

Estima una función de costo translogarítmica para el sector de distribución suizo, empleando una muestra de 39 empresas con información del período 1988-1991. El origen de los datos es variado, cubriendo la Oficina Federal de Estadística suiza, publicaciones anuales de la Asociación de Ciudades suizas y cuestionarios enviados por mail a las empresas. El objetivo del estudio es encontrar evidencias empíricas de las economías de escalas y analizar la sobre capitalización en el sector de distribución eléctrico suizo.

III.1.7 Scarsi (1999)

Estima una función de costo translogarítmica empleando métodos de frontera estocástica. La muestra la componen 147 empresas de distribución de Italia con datos correspondiente al año 1996. El propósito del estudio es hacer una comparación entre las empresas públicas y privadas, estas últimas pertenecientes a distritos municipales.

III.1.8 IPART (1999)

En este estudio el regulador de Australia examina la eficiencia técnica relativa de seis empresas de distribución de Nueva Gales del Sur (NGS) como base para cuantificar el crecimiento de productividad de estos distribuidores respecto a la determinación del precio de 1996, e identificar las mínimas variaciones que permitan mejorar la eficiencia dados los rendimientos a escala y las reglas de servicio establecidas. La eficiencia se calculó relativa al desempeño de una base de datos internacional, compuesta por 219 empresas distribuidoras que incluyeron empresas de Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Inglaterra y Gales. Se empleó la técnica de análisis envolvente de datos (DEA) usando un modelo de rendimientos constantes a escala (RCE), justificado con el argumento que las empresas no tienen ningún control sobre los rendimientos a escala en su producción. Los costos de explotación que están en moneda de los respectivos países, son convertidos en unidad monetaria única, considerando las paridades en las capacidades adquisitivas de los productos. Se utilizaron como variables de entrada: costo total de operación, longitud de la red y capacidad de transformadores. Se eligieron

estas variables porque los investigadores intentaron capturar información directa de los principales insumos del proceso productivo. Por otra parte las salidas fueron: energía vendida, número de clientes y demanda de punta. Consideraron que esta información es suficiente para observar adecuadamente el proceso productivo.

Para estudiar el efecto que las variables ambientales pudiesen tener en los resultados de eficiencia, se realizó un análisis de significancia estadística a un cierto número de estas variables. Este análisis indicó que la proporción de clientes (clientes residenciales por clientes totales, o clientes comerciales por clientes totales) y la configuración de red (kilómetros de líneas aéreas y kilómetros de líneas subterráneas) tienen una influencia significativa en los resultados del análisis DEA. Por el contrario, se encontró que la densidad de clientes (expresada como clientes por kilómetros cuadrados de área de servicio) no tiene influencia significativa.

III.1.9 Filippini y Wild (2000)

Estiman una función de costo promedio para el sector eléctrico de distribución suizo, realizando una regresión simple. Se emplea los datos de 59 empresas de distribución correspondientes a los años 1988 - 1996 obtenida de la Oficina Federal de Estadísticas. Como técnica de estimación se utilizó los mínimos cuadrados generalizados. El estudio sugiere la descomposición de la función de costo en costo en compra de energía y costos de la actividad de red. Además, el modelo propuesto hace distinción de redes de acuerdo a su nivel de voltaje, distinguiendo como la principal salida a los KWh transportados por la red de medio voltaje. La heterogeneidad de consumidores se mantiene diferenciada a los clientes de medio y bajo voltaje.

El propósito del estudio es contribuir con información que sea utilizada, como base de un proceso de regulación por comparación (yardstick regulation) para los precios de acceso a la red de distribución.

III.1.10 Filippini, Wild y Kuenzle (2001)

Introducen avances a su propuesta del 2000, utilizando un modelo de fronteras estocásticas para estimar el costo promedio de distribución. Se

emplea una muestra de 59 empresas de distribución suizas correspondiente a los años 1988 - 1996.

El estudio tiene como propósito analizar la estructura de costo respecto a la eficiencia y escala de producción, información que puede utilizarse en la fijación de precios de acceso a la red de distribución.

III.1.11 Kwoka (2001)

Estima una función de costo total para el sistema de distribución eléctrica, con el propósito de estudiar cómo son afectados por las distintas características de la empresa. El estudio emplea métodos econométricos estándar y la base de datos la componen 442 empresas, que de acuerdo al autor, representa más del 90% de la energía vendida en los Estados Unidos en 1989.

III.1.12 Jamasb y Pollitt (2001)

Este análisis compara la eficiencia de 63 empresas de distribución eléctrica correspondientes a seis países de Europa: Italia, Noruega, Inglaterra, Portugal, España y Países Bajos. El estudio utiliza las siguientes técnicas: DEA, COLS y SFA con diferentes especificaciones de modelos y datos correspondientes a los años 1997 - 1998.

El estudio muestra que empleando las distintas técnicas y modelos, no existen diferencias significativas de eficiencia en las empresas inglesas.

IV. Análisis de Envoltente de Datos (Data Envelopment Analysis – DEA)

IV.1 Introducción

A los efectos de esta Tesis, se realizará el estudio en detalle de la metodología de DEA, la cual presenta constantes desarrollos y nuevos enfoques que la hacen cada vez más empleada en la regulación mundial. Tal es así, que en el caso de estudio de la presente Tesis se propone su uso, bajo la metodología de DEA en dos etapas, para la determinación de la eficiencia de las distribuidoras eléctricas de Brasil en el próximo ciclo de revisiones tarifarias.

Como se explicó y siguiendo lo desarrollado en Coelli et al (2005), la DEA es un método no paramétrico que emplea programación lineal para calcular la frontera eficiente a partir de los datos existentes. Mediante esta programación se construye una “envoltente” de las combinaciones lineales de insumos y productos más eficientes.

La metodología DEA presenta una serie de ventajas que la han convertido en una de las técnicas más empleadas para medir la eficiencia de una empresa. Entre las ventajas se destaca que este método no requiere realizar ningún supuesto sobre la especificación de la función de costo y puede trabajar con muestras de tamaño reducido.

La característica principal del DEA es que no requiere una forma funcional específica. Una ventaja importante es que se puede calcular separadamente la eficiencia técnica de la asignativa. Su mayor crítica es que es determinística y se puede ver afectada por observaciones extremas (*outliers*) y que no permite incluir factores aleatorios. Otros puntos a destacar son que pueden ser muy sensibles al número de variables incluidas en el modelo y que tampoco es posible medir los errores de estimación. No obstante, estas críticas pueden ser mitigadas con el uso de nuevos desarrollos de DEA, como son los métodos en varias etapas y la incorporación de técnicas de bootstrap, como será aplicado en el caso del presente estudio de Tesis.

IV.2 Formulación

La metodología de DEA calcula la frontera de un conjunto de empresas. Las empresas que integran esta frontera definen la curva envolvente que contiene en su interior a las empresas menos eficientes, es decir, aquellas que están por encima de los costos de la frontera. La envolvente es el borde lineal de los tramos inferiores y es calculado mediante técnicas de programación lineal. En la literatura especializada con frecuencia se señala que la DEA *calcula* la frontera, en lugar de estimarla, dado que la programación lineal no obtiene los parámetros de la frontera ni permite realizar un análisis de significación estadística para determinar el nivel de confianza de los resultados.

Esta técnica admite diferentes variantes de cálculo, tales como la determinación de las eficiencias orientadas a los insumos o a los productos, como así también los supuestos de rendimientos a escala constantes o variables, que son descriptos más adelante. A continuación se expone el problema de minimización de costos de una firma i en una muestra de N firmas que producen M productos utilizando E insumos, sobre el supuesto de rendimientos constantes a escala¹⁷ (RCE):

$$\begin{aligned} & \min_{\lambda, x_i} w_i' x_i \\ & \text{sujeto a:} \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Donde:

- w_i y x_i son vectores de orden $E \times 1$ que representan los precios y las cantidades de los insumos utilizados por la firma i ;
- y_i es un vector de orden $M \times 1$ que representa los datos de productos;

¹⁷ Una firma presenta rendimientos constantes a escala cuando, en caso que se incremente en igual proporción el empleo de todos los insumos, la producción se incrementa en la misma proporción. Por ejemplo, en caso que se duplique la cantidad de trabajo y de capital, la cantidad de productos obtenida también se duplica.

- Y es una matriz de productos de orden $M \times N$;
- X es una matriz de insumos de orden $E \times N$;
- x_i es un vector de constantes no negativas a ser calculado, de orden $N \times 1$.

La resolución del problema de reducir al mínimo costo propuesto se realiza mediante un algoritmo de programación lineal que permite obtener una frontera o borde lineal en el espacio de los insumos, que se corresponde con el mínimo costo de producir un conjunto dado de productos en un punto determinado. La solución consiste en el mínimo costo viable para cada empresa, es decir, $w_i'x_i^*$, donde x_i^* es el conjunto de insumos óptimos para la firma i . La eficiencia de costos de cada empresa se calcula como la distancia de cada empresa hasta la envolvente o frontera lineal calculada, es decir:

$$EC_i = \frac{w_i'x_i^*}{w_i'x_i^o}$$

Donde x_i^o es la combinación de insumos efectivamente empleada por la firma i .

Cabe destacar que, más allá de ser el primer método empleado para medir eficiencia, la DEA presenta una serie de ventajas que popularizaron su uso y la tornan vigente, siendo constante objeto de estudio y aplicación. Entre estas ventajas se destaca que este método no requiere ninguna suposición sobre la especificación de la frontera ni sobre la distribución del término de ineficiencia y puede, además de eso, aplicarse cuando las muestras son de tamaño reducido.

IV.3 DEA en dos etapas

La metodología de DEA en dos etapas surge como respuesta al problema de que el análisis de DEA considera únicamente insumos y productos, los cuales para el caso de distribución de electricidad, generalmente son costos, medidos en unidades monetarias, o en cantidad de horas de

trabajo o de capital medido en unidades monetarias o ponderado por la extensión de redes. Como indicadores de los productos se puede utilizar la cantidad de clientes, la demanda máxima o la extensión de la red, tal como puede apreciarse en la literatura. Sin embargo, es ampliamente reconocido que la cantidad de insumos empleados se ve afectada por variables ambientales como densidad de clientes o las características topográficas del área de concesión. La metodología DEA no permite considerar estas variables, por lo cual, para poder considerar su efecto sobre la eficiencia se corre una segunda etapa. Esta etapa consiste en explicar los scores de eficiencia de la primera etapa en función de las variables ambientales, no gerenciadas por las distribuidoras, utilizando un análisis de regresión. De esta manera, si una firma tiene costos mayores que otra similar porque su área de concesión es menos favorable, en la segunda etapa se incrementará el score de esta firma dada la consideración del impacto que tiene esa zona desfavorable sobre sus costos.

Este análisis, como combina un método no paramétrico con un análisis de regresión, recibe la categoría de semi-paramétrico.

IV.4 Rendimientos de Escala

La medida de eficiencia de una unidad puede estar condicionada no sólo por la gestión de la misma sino también por la escala en la que opere. El modelo anterior supone la existencia de rendimientos constantes de escala. Esto significa que todas las unidades se comparan como si estuvieran sometidas a rendimientos constantes y no se contempla la posibilidad de existencia de ineficiencias debidas a las diferencias entre las escalas operativas de cada empresa¹⁸.

Banker, Charnes y Cooper (1984), propusieron como solución a esa consideración implícita el añadir una restricción adicional al modelo RCE de manera de restringir la búsqueda de las empresas más eficientes sobre la

¹⁸ Raúl Eduardo Sanhueza Hormazábal (2003), *"Fronteras de Eficiencia, Metodologías para la determinación del Valor Agregado de Distribución"*.

envoltura convexa definida para las empresas, con lo cual la comparación se realiza entre empresas con características similares.

El modelo resultante se conoce como modelo DEA con rendimientos variables a escala (RVE).

$$\begin{aligned} & \min_{\lambda, x_i} w_i' x_i \\ & \text{sujeto a:} \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & x_i - X\lambda \geq 0, \\ & 11'\lambda = 0, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

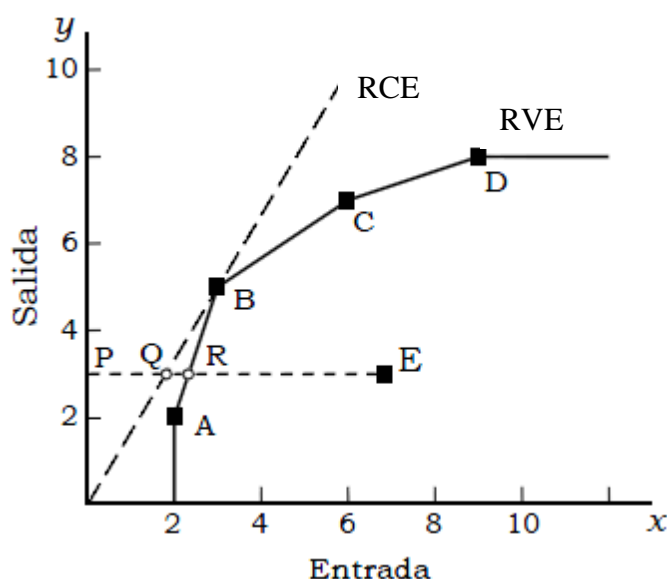
Donde:

- 11 es un vector de 1×1 .
- w_i y x_i son vectores de orden $E \times 1$ que representan los precios y las cantidades de los insumos utilizados por la firma i ;
- y_i es un vector de orden $M \times 1$ que representa los datos de productos;
- Y es una matriz de productos de orden $M \times N$;
- X es una matriz de insumos de orden $E \times N$;
- x_i es un vector de constantes no negativas a calcular, de orden $N \times 1$.

Se observa la incorporación de una condición respecto al modelo RCE, que tiene el efecto de dar forma convexa a la frontera de costos, y la eficiencia técnica de los scores obtenidos son mayores o iguales a aquellos obtenidos utilizando el método de RCE. Notar que la restricción de convexidad agregada esencialmente asegura que las firmas ineficientes sean sólo comparadas contra firmas del mismo tamaño.

La ventaja del conocimiento de estos dos modelos está en la posibilidad de separar los dos tipos de ineficiencias a fin de evaluar ineficiencias sólo técnicas en la envoltura.

El siguiente gráfico representa las soluciones de la metodología DEA, según los modelos de RCE y RVE, de un sencillo caso en que la tecnología productiva emplea una única entrada x y una única salida y . Los rectángulos negros representan el funcionamiento observado de las unidades. La línea sólida es la frontera obtenida empleando el modelo DEA RVE y las unidades que están sobre ésta, A, B, C y D, presentan la mejor razón salida a entrada y reciben con este modelo un resultado de eficiencia igual a 1.



Estas unidades, aunque son técnicamente eficientes, presentan diferentes rendimientos a escala. Por su parte, la línea segmentada, recta que une el origen con la unidad B, representa la frontera de eficiencia determinada por el modelo de RCE.

De este modo, con la figura se intuye que el segmento indicado por las unidades A y B presenta rendimientos crecientes a escala, es decir, que un aumento en el insumo causaría un aumento proporcionalmente mayor en el producto. De manera que la unidad A es técnicamente eficiente, pero ineficiente a escala. La unidad B, se encuentra sobre ambas fronteras, por tanto, esta unidad presenta tanto eficiencia técnica como eficiencia a escala. El tramo B, C y D presentan rendimientos decrecientes a escala, es decir, un aumento de insumo produciría proporcionalmente un menor aumento en el producto. Con esto, las unidades C y D son también técnicamente eficientes,

pero ineficientes a escala. Con el modelo de RCE sólo B sería considerada eficiente, ya que es la única unidad que opera con rendimientos constantes a escala.

Para una unidad ineficiente como la unidad E, alejada de la frontera, su eficiencia a escala está dada por:

$$\theta_{RCE} = \frac{PQ}{PE}$$

Y su eficiencia con rendimientos variables a escala es:

$$\theta_{RVE} = \frac{PR}{PE}$$

donde se concluye que en general, $\theta_{RCE} \leq \theta_{RVE}$.

Como se muestra, la DEA también puede aplicarse suponiendo que las firmas estudiadas no presentan rendimientos constantes a escala. De esta manera, el score de eficiencia no solo captura el efecto del empleo de los insumos por parte de las empresas, sino también el impacto de la escala, es decir, que para un determinado nivel de producción se requieran menos insumos, no necesariamente por mayor eficiencia, sino por razones tecnológicas. Por ese motivo, en muchos estudios se estima la eficiencia según ambos supuestos para eliminar el score de eficiencia de efectos positivos atribuidos a mayores niveles de producción y utilización de insumos. Para el caso de la distribución eléctrica es adecuado considerar rendimientos no decrecientes de escala, los cuales toman en cuenta tanto rendimientos crecientes como constantes.

IV.5 Procedimiento Bootstrap en DEA

La metodología DEA proporciona las medidas de eficiencia sin hacer ninguna consideración respecto a la exactitud de los datos de insumos y productos. Sin embargo, en la práctica, estas medidas de eficiencia pueden estar contaminadas por errores en las variables. Por consiguiente, es importante destacar que los resultados obtenidos de eficiencia son sólo estimaciones de la eficiencia verdadera y como tal, muy sensibles a los errores

en los datos y a la influencia de factores externos fuera del control de las empresas distribuidoras. Así, entonces, la consideración de error en las variables plantea una debilidad en la precisión estadística de la estimación DEA y aconseja cautela al momento de establecer comparaciones entre las unidades, al tomar únicamente como referencia las estimaciones puntuales.

Son numerosos los procedimientos que se han desarrollado para analizar la sensibilidad o robustez de los resultados de eficiencia (Cooper et al, 2001), revisan una amplia gama de técnicas actualmente disponibles.

En forma general, todas las metodologías de análisis de sensibilidad usan los mismos datos de empresas para evaluar por algún modo las variaciones de la eficiencia DEA. El análisis de sensibilidad es un intento por comprobar la robustez de los resultados con respecto a desviaciones de los datos de entrada y salida. Estos procedimientos por lo general se centran en determinar condiciones suficientes, es decir, se basan en limitar los cambios posibles a cantidades que conservarán el resultado de eficiencia, (Charnes et al, 1996). Si bien, estos procedimientos son muy útiles para obtener una primera aproximación de la fiabilidad de los resultados, ellos no proporcionan un análisis riguroso del impacto de los errores. Primero, las técnicas generalmente están centradas en perturbaciones parciales de datos seleccionados. Segundo, las técnicas no explican la distribución estadística del error, de ahí es difícil interpretar las medidas de sensibilidad de un modo estadísticamente significativo.

Una alternativa distinta es analizar las propiedades estadísticas de las estimaciones DEA mediante una metodología que permite generar datos factibles adicionales, con los cuales sea posible aproximar la distribución del estimado mediante la distribución del estimador bootstrap, (Simar y Wilson, 1998).

De acuerdo a los autores citados, el procedimiento bootstrap es utilizado estadísticamente para realizar inferencia sobre un parámetro Θ , estimado por medio de observaciones muestrales, $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, tomadas de una población con una distribución F desconocida. Se necesita determinar la

distribución de $S(X,F)$, asumiendo que se conoce una estimación de la distribución de muestreo, F' , con la cual, y a partir de las observaciones, se crea una nueva muestra aleatoria X^* , muestra bootstrap. Luego, con éstas, se estima un nuevo valor del parámetro pre-especificado $S(X^*,F')$. Si el proceso se repite L veces se obtienen B estimaciones que pueden emplearse para calcular la precisión o el sesgo del parámetro pre-especificado $S(X,F)$, es decir, se está determinando su distribución.

Más adelante, cuando se exponga el caso práctico analizado en la presente Tesis será descrita la metodología de bootstrap utilizada, la cual sigue estos lineamientos definidos por Simar y Wilson en su paper “Productivity Growth in Industrialized Countries”¹⁹, 1998 y su posterior publicación “Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes”²⁰, 2005.

¹⁹ Crecimiento de la Productividad en países industrializados.

²⁰ Estimación e inferencia en modelos semi-paramétricos en dos etapas de procesos productivos.

V. Caso de estudio: Aplicación de la metodología DEA a los costos operacionales de las distribuidoras de Brasil

En el marco de la fijación de los lineamientos teóricos para el tercer ciclo de regulación tarifaria de las empresas distribuidoras de energía eléctrica de Brasil, el día 10 de septiembre de 2010 la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), emitió el aviso de audiencia pública N° 40/2010, cuyo objetivo es plantear los lineamientos para el establecimiento de metodologías y criterios generales para el tercer ciclo de revisiones tarifarias periódicas de las concesionarias de distribución de energía eléctrica en el Brasil.

En tal aviso se dieron a conocer las notas técnicas N° 265/2010-SRE/ANEEL – “Costos Operacionales”, Nota Técnica N° 267/2010-SRE/ANEEL – “Factor X” y Nota Técnica N° 271/2010-SRE/ANEEL – “Pérdidas No Técnicas”.

Dado el alcance de la presente Tesis se focalizará el análisis sobre parte de la Nota Técnica N° 265/2010-SRE/ANEEL, donde se trata el abordaje de los costos operacionales, más precisamente, sobre la metodología de benchmarking, su modo de cálculo y los resultados obtenidos. Asimismo, se plantearán contribuciones para el mejoramiento de la metodología propuesta.

V.1 Costos operacionales - NT 265/2010- SRE/ANEEL

Para el 3° ciclo tarifario la regulación de Brasil presenta importantes cambios de metodología de cálculo de los costos de operación a ser considerados para el cálculo tarifario. La metodología actual de Empresa de Referencia, adoptada por la ANEEL para el vigente 2° ciclo, será cambiada por metodologías de *Benchmarking*. La propuesta de transición a la nueva metodología prevé dos etapas distintas para el 3° ciclo:

- En la Etapa 1 los valores inicialmente definidos en el 2° ciclo serán actualizados. Esta actualización será realizada considerando la evolución de los productos, la inflación y las ganancias de productividad

alcanzados. Estas ganancias de productividad, medidos a través de la evolución de la relación entre los productos e insumos alcanzados por las distribuidoras entre el 2º y el 3º ciclos, serán incorporados en el análisis de transición tarifaria, en beneficio de los usuarios del servicio;

- En la Etapa 2 será realizada la comparación de la eficiencia de las distribuidoras, por medio de métodos de *benchmarking*. Esta comparación dará como resultado un intervalo de valores de costos operacionales considerados eficientes, que será la meta de costos a ser alcanzada por cada distribuidora al final del 3º ciclo. Esta etapa se subdivide además en dos partes; una primera donde se aplica el método de DEA en dos etapas:
 - Una 1º etapa en que se evalúa el nivel de costos operacionales globales.
 - Una 2º etapa, donde son introducidas variables ambientales, que están fuera del control gerencial de las distribuidoras, a fin de corregir los *scores* de eficiencia obtenidos en la anterior etapa.

Y finalmente una segunda parte, donde los *scores* finales de las distribuidoras serán ajustados de acuerdo al desempeño de cada una en relación a la calidad de servicio y combate de pérdidas no técnicas (PNT). Esta parte no será abordada por la presente Tesis, dado que se trata de una propuesta de la ANEEL y se encuentra fuera de lo que es la metodología DEA a aplicar sobre los costos operacionales de las distribuidoras.

V.2 Costos Operacionales Eficientes

V.2.1 Aplicación metodología DEA

Como se introdujo previamente, el método de *Data Envelopment Analysis* (DEA) es un método no paramétrico que emplea programación lineal para calcular la frontera eficiente de la muestra. Mediante esta programación se construye una “envolvente” de las combinaciones lineales de insumos y

productos más eficientes. En esta frontera se localizan las unidades eficientes y, a partir de las mismas, se puede determinar la eficiencia de las demás unidades.

La DEA admite variantes. En relación a la orientación del ajuste puede ser orientada a los insumos (*input oriented*) o a los productos (*output oriented*). Respecto a los rendimientos de escala, los mismos pueden considerarse constantes o variables (crecientes o decrecientes) de escala, donde también pueden ser testeados escenarios con rendimientos no decrecientes de escala (que toman en consideración rendimientos constantes y crecientes de escala).

En la actividad de distribución de energía eléctrica la demanda a atender por una concesionaria es una variable no controlable, pues en la mayoría de los casos las empresas tienen la obligación de proveer el servicio dentro de su área de concesión. Por lo tanto, el *output* (demanda) es predefinido y, entonces, se emplean modelos orientados a los insumos.

Más allá de ser el primer método empleado para medir la eficiencia, la DEA presenta una serie de ventajas que popularizaron su uso. Entre estas ventajas se destaca que este método no requiere ninguna suposición sobre la especificación de la frontera ni sobre la distribución del término de ineficiencia y puede, en consecuencia, aplicarse cuando las muestras son de tamaño reducido.

Como fue adelantado anteriormente, la ANEEL propone en su Nota Técnica N° 265/2010, la metodología DEA en dos etapas para establecer el nivel de costos operacionales eficiente. En una primera etapa se considera apenas la relación existente entre insumos (costo operacional) y productos (kilómetro de red, consumidores, venta de energía). Ya en la segunda etapa, a los efectos de corregir los parámetros de eficiencia de la primera, los *scores* de la primera etapa son regresionados respecto a una selección de variables ambientales que afectan los costos operacionales de las distribuidoras. De esta manera es posible tener en cuenta las particularidades de cada empresa y área de concesión.

En este sentido, en el capítulo 7 del libro de Coelli et al (2005), se recomienda el uso del modelo de DEA en dos Etapas, utilizando una regresión por método Tobit en la segunda etapa, como se realiza en el presente trabajo de Tesis.

V.2.1.1 Base de datos

Para el análisis de los costos operacionales, en el marco del proceso de Audiencia Pública N° 40/2010, la ANEEL puso a disposición la “Base de Datos - Factor X y Costos Operacionales”²¹. Esa base contiene la información de 53 concesionarias para el período 2003-2008. Las concesionarias contenidas en la base se detallan a continuación:

Concesionarias				
AES SUL	CELTINS	COPEL	ELETROPAULO	JOÃO CESA
AMPLA	CEMAR	COSERN	ENERGISA BORBOREMA	LIGHT
BANDEIRANTE	CEMAT	CPEE	ENERGISA MINAS GERAIS	MANAUS
BOA VISTA	CEMIG	CPFL-PAULISTA	ENERGISA NOVA FRIBURGO	MOCOCA
BRAGANTINA	CEPISA	CPFL-PIRATININGA	ENERGISA PARAÍBA	MUXFELDT
CAIUA	CERON	CSPE	ENERGISA SERGIPE	NACIONAL
CEAL	CFLO	DEMEI	ENERSUL	RGE
CEB	CHESP	DMEPC	ESCELSA	SANTA CRUZ
CEEE	COCEL	EFLUL	FORCEL	SANTA MARIA
CELESC	COELBA	ELEKTRO	HIDROPAN	SULGIPE
CELG	COELCE	ELETROACRE	IGUAÇU	UHENPAL
CELPA	COOPERALIANÇA	ELETROCAR	JAGUARI	VALE PARANAPANEMA
CELPE				

Para cada empresa listada en la base y para cada uno de los años del período mencionado, la ANEEL informó las siguientes variables a ser utilizadas en el cálculo de DEA en dos etapas:

Variables	
Empresa	Costos de Capital
Año	N° de Transformadores
Costos Operacionales	Salarios
Mercado (Venta MWh)	Área
Red (km)	Indice de Complejidad
Consumidores	Nivel de Lluvias

Adicionalmente a las variables publicadas por la ANEEL, fueron relevadas otras informaciones a partir de los Oficios ANEEL N° 351/2009 y N°

²¹http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/dspListaDetalhe.cfm?attAnoAud=2010&attIdeFasAud=432&id_area=13&attAnoFasAud=2011

05/2010, como así también de la Asociación Brasileira de Distribuidores de Energía Eléctrica (ABRADEE). Estas variables se detallan en la siguiente tabla:

Variables	
DEC real	Porcentaje de clientes rurales
FEC real	Porcentaje de energía residencial
DEC objetivo	Porcentaje de clientes residenciales
FEC objetivo	Porcentaje de red de Baja Tensión
Porcentaje de PNT	Salario en términos Reales

El salario en términos reales presentado en la tabla anterior, fue obtenido a partir del salario informado por la ANEEL, deflactado por el índice IPCA²² de Brasil, a los fines de expresarlo en términos reales.

Estas variables adicionales permitirán realizar mayores análisis para determinar el comportamiento de los costos operacionales.

V.2.1.2 DEA - 1º etapa

A continuación, se muestra el detalle de las características consideradas en la primera etapa de la DEA definida por la ANEEL:

- Modelo DEA orientado a insumos con retornos no decrecientes de escala, es decir, que permite tanto rendimientos constantes como crecientes de escala, lo cual es consistente con el servicio de distribución de energía eléctrica;
- Valores naturales (absolutos) de variables utilizadas como productos e insumos;
- Las empresas fueron agrupadas por tamaño en empresas de pequeño y gran porte, en función a si venden menos o más de 1 TWh/año, siguiendo lo propuesto por ANEEL;
- Insumos y productos:

Insumo	Productos
Costos	Red y Consumidores
Operacionales	Red y Mercado

²² Índice Nacional de Preços Amplo. <http://www.ipeadata.gov.br>.

- En esta primera etapa, la base de datos de los años 2003 a 2008 fue corrida como una sección cruzada. Los resultados de los diferentes años de las mismas empresas son considerados independientes. Ya en la segunda etapa, se incorpora la variable “tendencia” con el objetivo de considerar los datos como panel de datos;
- ANEEL utiliza las siguientes variables como productos en las corridas de DEA 1° Etapa:
 - Red (R) y consumidores (Cons);
 - Red y mercado (Merc).

Estas corridas fueron realizadas en forma separada, alegándose que no fueron efectuadas en forma conjunta en el modelo debido a la alta correlación entre las variables consideradas.

Asimismo, en esta etapa fueron incorporados otros dos análisis, como parte de las contribuciones de la presente Tesis:

1. Fue analizada la alternativa de utilización de las tres variables conjuntamente (red, consumidores y mercado), lo que generó resultados un tanto más elevados que en los escenarios separados, como era presumible en la metodología DEA.

Se presentan a continuación los resultados de las corridas para empresas de pequeño y gran porte:

Empresas de Gran Porte

	R y Cons	R y Merc	R, Cons y Merc
Ef media	60%	62%	67%
Ef máx	100%	100%	100%
Ef mín	27%	27%	29%

Empresas de Pequeño Porte

	R y Cons	R y Merc	R, Cons y Merc
Ef media	61%	61%	66%
Ef máx	100%	100%	100%
Ef mín	16%	17%	18%

2. Fueron corridos otros modelos de DEA en una sola etapa, considerando tanto las variables endógenas de las empresas, como así también las variables exógenas (ambientales). No obstante y en función a los resultados obtenidos, los mismos no fueron tomados en cuenta dado que, al incorporar un mayor número de variables en la metodología DEA, las mismas generan funciones de costos cada vez más complejas y aumentan las diferencias entre las observaciones. Esto resulta en una redefinición de la frontera, aumentando los *scores* de todas las observaciones. Para incorporar variables ambientales en el análisis de DEA es recomendable hacerlo en un escenario de DEA en dos etapas, como fue aclarado anteriormente.

Todos los escenarios de la primera etapa fueron corridos utilizando el software Efficiency Measurement System (EMS), el cual es un software libre disponible en Internet. El mismo se entrega en forma adjunta al presente trabajo, conjuntamente con los archivos de datos de entrada y *scores* de salida de las corridas mencionadas.

V.2.1.3 DEA - 2º etapa

Una parte de la ineficiencia de las empresas es debido a variables ambientales, las cuales no son gestionables por las empresas. Estas variables afectan la productividad de la empresa, pero se encuentran fuera de su control gerencial.

Por esta razón es utilizada una metodología semi-paramétrica de cálculo de la DEA, donde en un primer paso es utilizado el método no paramétrico de DEA para las variables tradicionales y, en el segundo paso, los *scores* de eficiencia obtenidos son regresionados contra variables ambientales, obteniendo finalmente los parámetros de eficiencia de cada concesionaria. El modelo empleado en la segunda etapa es un modelo de regresión Tobit²³, con la aplicación adicional de técnicas de muestreo *Bootstrap*. De esta manera, se

²³ El nombre viene de Tobin, James (1958), que fue quien sugirió este modelo.

puede decir que el cálculo de DEA en dos etapas es un método semi-paramétrico de estimación de eficiencia.

En esta segunda etapa se conserva la división de la muestra entre empresas de gran y pequeño porte, re-expresándose cada una de las variables ambientales en términos logarítmicos.

Las variables ambientales empleadas por la ANEEL son:

Variable	Descripción
Tendencia	Año de la observación y variables.
Salario Medio	Nivel salarial de ocupaciones relacionadas a la distribución de Electricidad en el área de cada distribuidora.
Área de actuación	Área en que se encuentran las redes de la distribuidora.
Consumidores por Área	Relación entre el número de clientes y el área de actuación.
Transformadores por Área	Relación entre el número de transformadores y el área de actuación.
Precipitaciones	Índice pluviométrico del área de actuación.
Complejidad del área de concesión	Índice que intenta explicar el grado de complejidad socio económica del área de actuación.

Se presenta a continuación un detalle de las razones por las cuales son consideradas las mismas. En primer lugar, la variable tendencia fue incorporada a los fines de poder evaluar si existe un avance tecnológico entre dos años del período analizado, de manera que pueda ser separado y reconocido. Esta variable se la incorpora como “YEARDUM” en el modelo.

Un factor muy importante que afecta los costos operacionales está relacionado al nivel salarial de cada distribuidora, variable aquí denominada Salario Medio. Es importante resaltar que no se trata del salario pagado por las empresas a sus colaboradores, sino al nivel medio de remuneraciones de profesionales con funciones similares a aquellas empleadas por empresas de distribución de energía eléctrica en la región donde actúa cada distribuidora. El efecto del nivel salarial de la distribuidora es que a mayores salarios pagados por la misma, mayor debería ser su score en la segunda etapa.

Otra variable ambiental muy utilizada en este tipo de estudios es la densidad de consumidores. Una mayor dispersión de consumidores en el área de actuación de la empresa suele implicar un mayor costo en la logística de la

empresa, mayor número de equipos, rodados, mayor cantidad de gerencias regionales, mayores costos de desplazamiento, fletes, etc.

Fueron consideradas tres variables que procuran incorporar esta dimensión al modelo. Las mismas son, por un lado el Área de Actuación, calculada por ANEEL como el área donde existe prestación efectiva del servicio, tomando una superficie circundante a las redes de distribución, lo cual es representativo del área servida (no del área de concesión) que está directamente ligada a los costos operacionales. Es una manera interesante de considerar el problema en la medida en que los parámetros de eficiencia ya consideran la escala de la empresa. De este modo, en el caso que esta variable este afectando los parámetros de eficiencia significa que, para una escala dada, una mayor área de actuación implica mayores costos operacionales. Y por el otro lado, las variables Número de Consumidores por Área y Número de Consumidores por Transformador, que miden directamente la dispersión de los consumidores en el área de actuación de la empresa. Una elevada densidad de consumidores por área de actuación o por transformador indica una alta concentración de consumidores lo que, normalmente, resulta en menores costos operacionales.

El Índice de Complejidad mide el grado de adversidad enfrentado por las empresas en el combate a las pérdidas no técnicas. Una empresa que posee un área de concesión con un índice de complejidad mayor posee mayor dificultad para reducir sus pérdidas, comparativamente a otra cuya área de concesión posea un índice menor. Esto puede implicar mayores costos operacionales, en la medida en que el combate de PNT puede exigir un mayor esfuerzo a la empresa.

La variable Índice de Precipitación se correlaciona con los costos operacionales, especialmente de operación y mantenimiento, dado que una mayor incidencia de lluvias, puede estar relacionada a un mayor número de cortes en la red y, por lo tanto, una mayor necesidad de intervenciones. En este sentido, para poder brindar el servicio atendiendo los límites de calidad de

servicio definidos por la ANEEL, serían necesarios más equipos de operación y mantenimiento.

Eligiendo distintas combinaciones de estas variables la ANEEL generó 14 escenarios para empresas de gran porte y otros 6 para empresas de pequeño porte. La mitad de estos modelos consideran la DEA 1º etapa con las variables de red y consumidores, y la otra mitad con red y mercado. Los signos observados en los coeficientes de las variables usadas por la ANEEL son los siguientes:

Variable	Variable Modelo	Signo
Tendencia	YEARDUM	(-)
Salario Medio	SAL	(+)
Área de actuación	AREA	(+)
Consumidores por Área	NUNC_AREA	(-)
Transformadores por Área	NUNC_TRAFO	(-)
Complejidad del área de concesión	COMPLEX	(+)*
Precipitaciones	CHUVA	(+)

* Sólo en un escenario presenta signo negativo.

Los signos significan el efecto que tienen los cambios en las variables sobre los scores de eficiencia de costos operacionales. Por ejemplo, ante un aumento de los niveles de salarios medios, los costos operacionales sufrirán también un aumento (signo positivo) y viceversa por ejemplo para variables como la densidad. Sobre los mismos se analizó si los signos esperados para cada variable, dada su naturaleza y comportamiento normal, se corresponden con aquellos obtenidos en las regresiones, confirmándose que las variables se comportan de la manera esperada.

V.2.1.3.1 Modelo Tobit

En cada uno de los escenarios se corre una regresión del tipo Tobit, la cual es un modelo de regresión basado en una variable censurada (variable dependiente). La regresión es obtenida haciendo que la media resultante de un análisis del tipo censurado se corresponda con un modelo de regresión clásico. En el caso presentado, la variable dependiente corresponde a los scores de

eficiencia, la cual fue censurada al retirar las empresas eficientes de la muestra. Como fue explicado, los scores adoptan valores entre 1 y 0, correspondiendo el score 1 a aquellas empresas que se encuentran sobre la frontera. La metodología DEA es muy sensible a las observaciones que forman la frontera, modificando los parámetros de las demás empresas, razón por la cual fueron retiradas como variables censuradas.

El modelo básico es el siguiente (Greene, 1999):

$$\begin{aligned} \delta_i^* &= \beta' x_i + \varepsilon_i, & \delta_i &= 0 \text{ si } \delta_i^* \leq 0 & \varepsilon_i &\simeq N(0, \sigma^2) \\ \delta_i &= \delta_i^* \text{ si } \delta_i^* > 0 \end{aligned}$$

Donde:

- δ_i es el score de la primera etapa de DEA,
- β' es el vector de parámetros a estimar;
- x_i es el vector de las variables independientes del modelo,
- ε_i es el error aleatorio.

Como el efecto no es lineal, los coeficientes estimados de las variables x_i no pueden ser interpretados en términos de efectos marginales. Asimismo, el modelo Tobit permite distinguir dos tipos de efectos ante cambios en las variables independientes.

Por consiguiente, un cambio en x_i :

a) Afecta la media condicionada de δ_i^* (en la parte positiva de la distribución);

b) Afecta la probabilidad de que la observación caiga en esa parte de la distribución:

$$\frac{\partial E[\delta_i | x_i]}{\partial x_i} = \underbrace{Prob[\delta_i > 0] \frac{\partial E[\delta_i | x_i, \delta_i > 0]}{\partial x_i}}_a) + \underbrace{E[\delta_i, \delta_i > 0] \frac{\partial Prob[\delta_i > 0]}{\partial x_i}}_b)$$

Una particularidad muy importante de la regresión Tobit es que la misma permite realizar un análisis de significancia de las variables utilizadas. El mismo constituye una gran contribución del presente trabajo al caso analizado por la ANEEL, dado que en el mismo no fue tomado en consideración, siendo que

algunos de los escenarios planteados no resultaban estadísticamente significativos, como será expuesto más adelante.

V.2.1.3.2 Bootstrap

El caso presentado está basado en el método de Simar y Wilson (2007). Este consiste en la realización de técnicas de muestreo (*bootstrap*) para corregir la distribución del error aleatorio.

Utilizando el método de regresión truncada, para las m empresas ($m < n$) detectadas como no eficientes son obtenidas las estimaciones de los coeficientes $\hat{\beta}$. Las estimaciones de la varianza de los residuos $\sigma_e^{\wedge 2}$ son obtenidas regresionando los *scores* de eficiencia contra las variables ambientales, conforme con los pasos descritos a continuación:

$$\text{a) } \delta_i = z_i \beta + \varepsilon_i$$

Donde:

δ_i = parámetro de eficiencia (medida de Shepard);

z_i = vector de variables ambientales de la empresa i ;

β = vector de coeficientes estimados;

ε_i = error aleatorio;

1. Producir m residuos μ_i generados de forma aleatoria a partir de una distribución $N(0, \sigma)$ con truncamiento a la izquierda en $(1 - z_i \hat{\beta})$;
2. Calcular la variable δ_i^* substituyendo el vector de coeficientes obtenido en (a) y el vector de residuos obtenido en el paso anterior sobre la siguiente ecuación:

$$\text{b) } \delta_i^* = z_i \hat{\beta} + \mu_i$$

3. Obtener, una vez más utilizando el método de regresión truncada, las estimaciones de los coeficientes $\hat{\beta}^{**}$, la estimación de la varianza de los residuos $\sigma_e^{\wedge *}$ regresionando los *scores* de eficiencia δ_i^* obtenidos en el paso anterior contra las variables ambientales z_i . Colectar las

estimaciones de los coeficientes y de las varianzas de los residuos en la matriz B en cada una de las L repeticiones del Bootstrap.

$$B = \left[\begin{array}{cc} \hat{\beta}_l^* & \hat{\sigma}_{\varepsilon,l}^* \end{array} \right]_{l=1}^L$$

En síntesis, lo que se obtiene con la aplicación del método de *bootstrap* sugerido por Simar y Wilson es una mayor robustez de los parámetros estimados en la DEA 2º etapa. La corrección de los parámetros de eficiencia pasa a ser hecha utilizando el valor medio de los coeficientes estimados en la Matriz B .

$$\delta_i^{**} = z_m \bar{\beta} + \varepsilon_i$$

Donde:

δ_i^{**} = parámetro de eficiencia corregido para las variables ambientales (medida de Shepard);

z_i = vector de variables ambientales de la empresa i ;

$\bar{\beta}$ = media de los L valores estimados por bootstrap de β^{**} ;

ε_i = diferencia entre los parámetros de eficiencia δ_i obtenidos en la primer etapa y $z\bar{\beta}$;

V.3 Resultados

Para el caso de las corridas de la segunda etapa del DEA fue utilizado un algoritmo desarrollado en el software “R-Project”²⁴. El mismo es un soft libre, que se plantea como competencia gratuita al lenguaje “S” desarrollado por *Bell Laboratories* (antes *AT&T*). Este software presenta la característica de ser “*Open Source*”, es decir que cualquiera puede incorporar aportes y contribuciones al mismo y de esta forma se va enriqueciendo de manera constante. El mismo opera mediante el uso de paquetes que permiten la ejecución de distintos modelos, funciones y sentencias. Concretamente en este

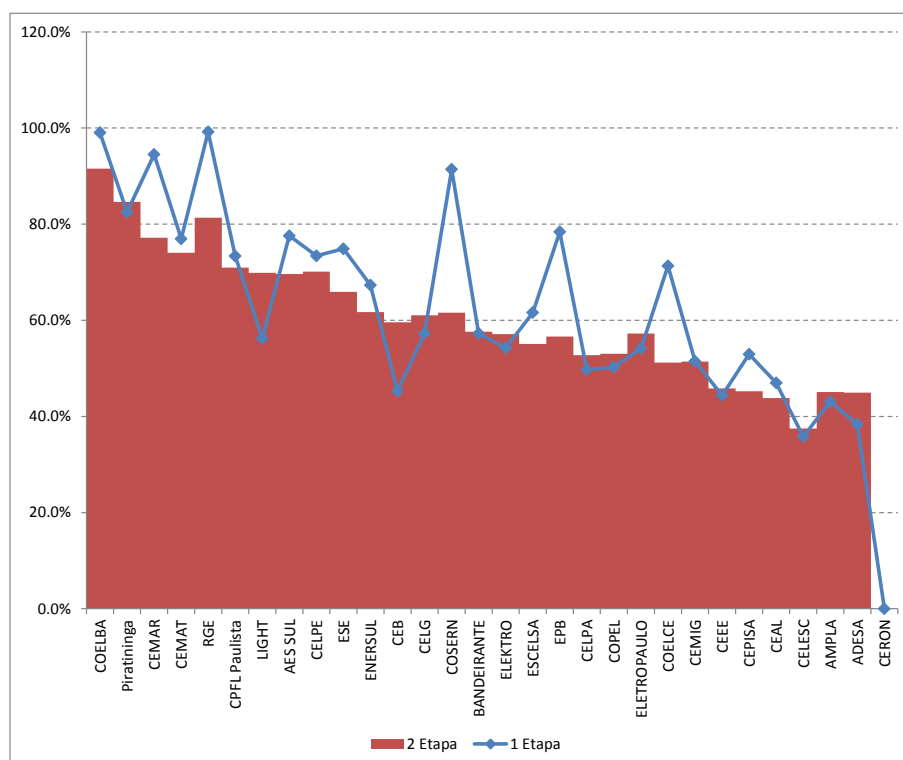
²⁴ <http://www.r-project.org/>

estudio, se utilizan los paquetes AER y FEAR, para correr los escenarios previstos de DEA segunda etapa. El algoritmo en R, como así también el software, los paquetes mencionados, las salidas y el archivo donde se consolidan las mismas y se generan los cuadros de resultados serán entregados en forma conjunta al presente estudio.

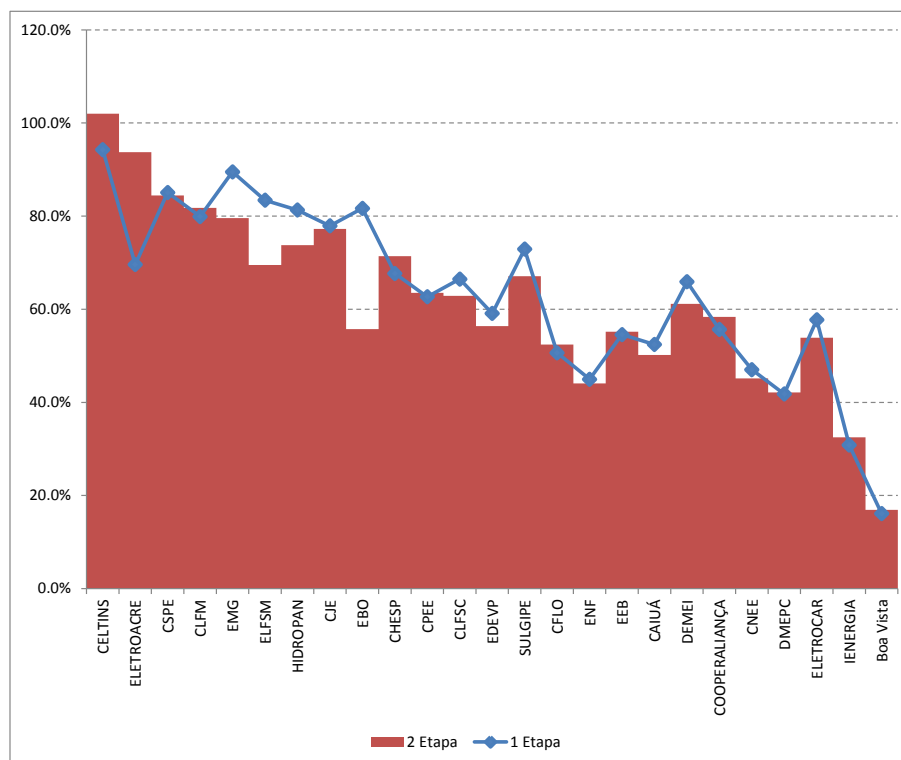
V.3.1 Resultados ANEEL primera y segunda etapa

Antes de presentar los resultados de los análisis estadísticos de las variables, se muestra seguidamente los scores de eficiencia de las empresas calculados por la ANEEL en la primera y segunda etapa, tanto para las concesionarias de gran porte como para aquellas de pequeño porte. En el escenario de la primera etapa, se calculó el valor medio de los dos scores presentados por la ANEEL, uno considerando como *outputs* kilómetros de red y energía; y otro considerando kilómetros de red y número de consumidores.

Empresas de Gran Porte:



Empresas de Pequeño Porte:



V.3.2 Análisis estadístico de las variables

Como fue introducido, una de las grandes ventajas del modelo Tobit, que fue implementada en el análisis realizado para la presente Tesis, es la posibilidad de calcular un Test de significancia de los coeficientes obtenidos en la regresión (test **Z**).

El mismo corresponde al cociente entre el estimador del coeficiente y el error estándar asintótico estimado.

$$z = \frac{\beta}{\sigma}$$

- El valor absoluto normal y superior a 2;
- Se calculó la media del Z test de las L repeticiones del *bootstrap*;
- Se calculó qué cantidad de las L repeticiones del *bootstrap* arrojó un valor absoluto de test menor a 2.

Los resultados son presentados en los puntos subsiguientes.

V.3.3 Resultados DEA – 2º etapa

Se presenta a continuación las variables utilizadas en cada uno de los escenarios de la ANEEL, el Test z de cada una de las mismas y la cantidad de veces que el Test z es menor, en valor absoluto, a 2 en las $L=100$ repeticiones del *bootstrap* (celdas sombreadas en naranja indica que no supera z test):

Empresas de Gran Porte:

Escenario --->	1	2	3	4	5	6	7
Output DEA 1º Etapa -->	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM
Variable 2	AREA	AREA	NUNC_AREA	NUNC_AREA	NUNC_TRAFO	NUNC_TRAFO	NUNC_TRAFO
Variable 3	SAL	SAL	SAL	SAL	SAL	SAL	SAL
Variable 4		CHUVA		COMPLEX		CHUVA	COMPLEX
Variable 5							

Escenario --->	1	2	3	4	5	6	7
Output DEA 1º Etapa -->	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons
Z test Variable 1	-6.15	-4.26	-4.22	-5.27	-5.17	-5.02	-4.67
Z test Variable 2	1.68	0.42	-0.61	-0.47	-0.58	-0.41	-0.70
Z test Variable 3	9.64	7.77	8.41	9.67	9.60	8.55	10.01
Z test Variable 4	-	3.06	-	0.05	-	3.19	0.42
Z test Variable 5	-	-	-	-	-	-	-

Escenario --->	1	2	3	4	5	6	7
Output DEA 1º Etapa -->	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons
Veces ABS Var 1 < 2	-	-	2	-	-	-	-
Veces ABS Var 2 < 2	54	93	85	93	87	93	84
Veces ABS Var 3 < 2	-	-	-	-	-	-	-
Veces ABS Var 4 < 2	-	16	-	97	-	10	91
Veces ABS Var 5 < 2	-	-	-	-	-	-	-

Escenario --->	8	9	10	11	12	13	14
Output DEA 1º Etapa -->	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM
Variable 2	AREA	AREA	AREA	NUNC_AREA	NUNC_AREA	AREA	NUNC_TRAFO
Variable 3	SAL	SAL	SAL	SAL	SAL	SAL	SAL
Variable 4		COMPLEX	CHUVA		COMPLEX	CHUVA	COMPLEX
Variable 5		CHUVA			CHUVA		CHUVA

Escenario --->	8	9	10	11	12	13	14
Output DEA 1º Etapa -->	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Z test Variable 1	-5.13	-5.10	-3.83	-4.36	-5.19	-4.20	-4.52
Z test Variable 2	2.98	2.26	2.73	-2.95	-3.55	2.56	-0.79
Z test Variable 3	8.19	7.16	6.10	8.28	9.10	6.81	6.45
Z test Variable 4	-	3.84	0.95	-	4.68	0.96	4.31
Z test Variable 5	-	0.74	-	-	1.08	-	1.50

Escenario --->	8	9	10	11	12	13	14
Output DEA 1º Etapa -->	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Veces ABS Var 1 < 2	1	-	3	1	-	-	-
Veces ABS Var 2 < 2	14	38	30	30	15	30	89
Veces ABS Var 3 < 2	-	-	-	-	-	-	-
Veces ABS Var 4 < 2	-	2	82	-	-	87	-
Veces ABS Var 5 < 2	-	86	-	-	81	-	70

Empresas de Pequeño Porte:

Escenario --->	1	2	3	4	5	6
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM
Variable 2	SAL	SAL	SAL	SAL	SAL	SAL
Variable 3		COMPLEX	CHUVA		COMPLEX	COMPLEX
Variable 4		CHUVA			CHUVA	
Variable 5						

Escenario --->	1	2	3	4	5	6
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Z test Variable 1	-2.25	-1.54	-1.36	-2.43	-2.02	-2.50
Z test Variable 2	3.45	2.19	1.98	3.51	2.61	3.53
Z test Variable 3	-	0.16	2.58	-	1.83	1.16
Z test Variable 4	-	2.91	-	-	3.09	-
Z test Variable 5	-	-	-	-	-	-

Escenario --->	1	2	3	4	5	6
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Cons	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Veces ABS Var 1 < 2	46	57	77	34	48	26
Veces ABS Var 2 < 2	11	42	52	11	29	6
Veces ABS Var 3 < 2	-	95	22	-	55	86
Veces ABS Var 4 < 2	-	19	-	-	23	-
Veces ABS Var 5 < 2	-	-	-	-	-	-

Se observa claramente que ni todas las variables ni todos los escenarios son significativos en las regresiones Tobit corridas por ANEEL. Hacer esta evaluación es fundamental, pues permite identificar y utilizar solamente aquellas variables y escenarios que mejor explican los costos operacionales, descartando los demás escenarios. De esa forma se obtiene un conjunto de escenarios con mayor robustez estadística, dándole mayor objetividad a los resultados del modelo DEA en dos etapas.

Esta contribución al trabajo presentado por la ANEEL es de suma importancia, dado que incorpora una forma de validación de las variables y escenarios utilizados, de manera que resulte más objetivo y neutral el análisis de eficiencia presentado por el regulador.

En consecuencia, de los modelos utilizados por la ANEEL fueron seleccionados, en base a los resultados de significancia estadística de las variables consideradas, los más representativos, los cuales son presentados a continuación:

Empresas de Gran Porte:

Escenario --->	1	8	11	12
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM
Variable 2	AREA	AREA	NUNC_AREA	NUNC_AREA
Variable 3	SAL	SAL	SAL	SAL
Variable 4				COMPLEX
Variable 5				CHUVA

Empresas de Pequeño Porte:

Escenario --->	1	4
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM
Variable 2	SAL	SAL
Variable 3		
Variable 4		
Variable 5		

Asimismo, con el objetivo de realizar otras contribuciones a la metodología planteada por la ANEEL, se testearon nuevos escenarios con nuevas variables ambientales que también tienen efecto en los costos de las empresas:

Variable	Variable Modelo	Signo
Salario ABRADDEE	SAL_ABD	(+)*
Ln Redes en Baja Tensión	LnRede_bt	(-)*
Ln Clientes Residenciales	LnCli_res	(+)
Costos de personal	LnC_pess	(+)
PNT respecto a Energía en Baja Tensión	PNT_EMBT	(+)
Clientes Residenciales	Cli_res	(+)
Salarios Reales	Sal_Real	(+)
Calidad (DEC/FEC)	Calidad (DEF/FEC)	(-)

* Cambia de signo entre GP y PP.

Es importante identificar y considerar la incidencia en los costos operacionales de las concesionarias de variables como:

- **Red de Baja Tensión:** la composición de las redes por nivel de tensión es una característica que afecta de forma directa los costos operacionales, dado que cuanto mayor es la proporción de redes en baja

tensión, mayores son los costos de mantenimiento, pues las redes de BT normalmente tienen una tasa de fallas mayor;

- **Pérdidas no técnicas:** más allá de que esta variable sea parte de la evaluación cualitativa de la eficiencia planteada por la ANEEL, es también determinante en los costos operacionales totales de cada empresa. En la evaluación cualitativa citada, las concesionarias son premiadas o castigadas en función a haber alcanzado o no sus metas de PNT, pero la ANEEL no reconoce el trabajo ya efectuado para alcanzar el nivel actual de PNT y los consecuentes costos operacionales involucrados. Por ese motivo, es importante su consideración en el *benchmarking* realizado;
- **Calidad:** las consideraciones anteriores para las PNT también son válidas para el caso de la calidad del servicio, razón por la cual también es tomada en cuenta en los nuevos escenarios realizados de DEA en 2° Etapas. La misma es expresada como el cociente entre las variables DEC (duración de cortes) y FEC (frecuencia de cortes), como una relación de la duración media de las interrupciones.

Con relación a estas últimas dos variables (PNT y calidad) es importante reforzar que los costos operacionales observados en las empresas incorporan una determinada *performance* operacional que puede ser medida como nivel de calidad y nivel de PNT implícitos. Por eso resulta necesario considerar los efectos de calidad y los costos del combate a las PNT por dentro del *benchmarking*. Este reconocimiento es independiente de la posterior evaluación cualitativa con respecto a las metas fijadas para cada concesionaria. **Esto constituye otra importante contribución del presente trabajo de Tesis.**

Con estas nuevas variables ambientales, combinadas con las variables de la propuesta de la ANEEL, fueron corridos nuevos escenarios que son presentados a continuación:

Empresas de Gran Porte:

Escenario --->	A	B	C	D	E	F	G	H
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Cons
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM
Variable 2	AREA	NUNC_AREA	SAL_ABD	NUNC_AREA	LnRede_bt	LnCli_res	SalReal	PNT_EMBT
Variable 3	SAL	NUNC_TRAFO		SAL		LnC_pess	NUNC_AREA	
Variable 4	CHUVA	SAL		CALIDAD			COMPLEX	
Variable 5	COMPLEX	CHUVA						
Variable 6		COMPLEX						

Escenario --->	A	B	C	D	E	F	G	H
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Cons
Z test Variable 1	-4.93	-5.33	-0.70	-3.50	-0.20	-1.33	-2.31	-0.24
Z test Variable 2	0.38	-3.07	3.56	-2.07	-1.07	1.86	10.57	0.67
Z test Variable 3	6.88	-0.06	-	5.93	-	5.39	-3.72	-
Z test Variable 4	3.03	8.45	-	-2.98	-	-	5.86	-
Z test Variable 5	-0.35	0.91	-	-	-	-	-	-
Z test Variable 6	-	4.18	-	-	-	-	-	-

Escenario --->	A	B	C	D	E	F	G	H
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Cons
Veces ABS Var 1 <2	-	-	89	6	96	64	39	96
Veces ABS Var 2 <2	91	11	5	46	82	58	-	91
Veces ABS Var 3 <2	-	93	-	-	-	-	3	-
Veces ABS Var 4 <2	17	-	-	15	-	-	-	-
Veces ABS Var 5 <2	90	83	-	-	-	-	-	-
Veces ABS Var 6 <2	-	4	-	-	-	-	-	-

Escenario --->	I	J	K	L	M	N	O	P
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Merc	Red y Cons	Red y Cons	R e Cons	Red y Merc	Red y Merc	R e Cons	Red y Merc
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	COMPLEX	SalReal
Variable 2	Cli_res	CHUVA	PNT_EMBT	COMPLEX	AREA	SAL	CHUVA	NUNC_AREA
Variable 3		CALIDAD	CALIDAD	CHUVA	SALAR	CALIDAD	CALIDAD	COMPLEX
Variable 4		COMPLEX		PNT_EMBT	PNT_EMBT	COMPLEX		
Variable 5						NUNC_AREA		
Variable 6								

Escenario --->	I	J	K	L	M	N	O	P
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Merc	Red y Cons	Red y Cons	R e Cons	Red y Merc	Red y Merc	R e Cons	Red y Merc
Z test Variable 1	-0.84	-0.25	0.39	0.03	-4.91	-4.31	-1.64	4.96
Z test Variable 2	1.37	4.36	-0.20	-3.00	3.39	7.61	3.87	-4.11
Z test Variable 3	-	-1.79	-3.46	4.88	8.63	-3.64	-1.56	9.36
Z test Variable 4	-	-1.72	-	2.02	6.13	4.75	-	-
Z test Variable 5	-	-	-	-	-	-2.14	-	-
Z test Variable 6	-	-	-	-	-	-	-	-

Escenario --->	I	J	K	L	M	N	O	P
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Merc	Red y Cons	Red y Cons	R e Cons	Red y Merc	Red y Merc	R e Cons	Red y Merc
Veces ABS Var 1 <2	83	91	94	96	-	-	61	-
Veces ABS Var 2 <2	71	2	94	21	5	-	4	3
Veces ABS Var 3 <2	-	69	9	-	-	4	65	-
Veces ABS Var 4 <2	-	63	-	56	-	-	-	-
Veces ABS Var 5 <2	-	-	-	-	-	40	-	-
Veces ABS Var 6 <2	-	-	-	-	-	-	-	-

Empresas de Pequeño Porte:

Escenario --->	A	B	C	D	E	F	G
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM
Variable 2	AREA	NUNC_AREA	SAL_ABD	SAL_ABD	LnRede_bt	LnCli_res	SAL
Variable 3	SAL	NUNC_TRAFO				LnC_pess	CLIENTES
Variable 4	CHUVA	SAL					NUNC_AREA
Variable 5	COMPLEX	CHUVA					
Variable 6		COMPLEX					

Escenario --->	A	B	C	D	E	F	G
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc
Z test Variable 1	-1.40	-2.04	0.53	-0.00	-2.17	-1.37	-2.38
Z test Variable 2	-0.17	-0.71	-2.08	-1.36	3.05	2.91	3.00
Z test Variable 3	2.02	2.74	-	-	-	1.34	-0.29
Z test Variable 4	2.64	3.45	-	-	-	-	-0.44
Z test Variable 5	0.06	2.43	-	-	-	-	-
Z test Variable 6	-	1.41	-	-	-	-	-

Escenario --->	A	B	C	D	E	F	G
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc
Veces ABS Var 1 <2	67	46	90	97	49	75	36
Veces ABS Var 2 <2	99	93	51	71	21	36	15
Veces ABS Var 3 <2	43	24	-	-	-	80	97
Veces ABS Var 4 <2	23	11	-	-	-	-	93
Veces ABS Var 5 <2	94	23	-	-	-	-	-
Veces ABS Var 6 <2	-	66	-	-	-	-	-

Escenario --->	H	I	J	K	L	M
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Cons	R e Cons	Red y Cons
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM
Variable 2	PNT_EMBT	CLI_RES	CHUVA	PNT_EMBT	COMPLEX	AREA
Variable 3			CALIDAD	CALIDAD	CHUVA	SALAR
Variable 4			COMPLEX		PNT_EMBT	PNT_EMBT
Variable 5						
Variable 6						

Escenario --->	H	I	J	K	L	M
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Cons	R e Cons	Red y Cons
Z test Variable 1	-0.23	-1.18	-0.21	0.19	-0.05	-4.06
Z test Variable 2	2.77	3.08	3.05	3.13	-4.16	-2.22
Z test Variable 3	-	-	-3.10	-3.86	1.17	4.91
Z test Variable 4	-	-	-0.81	-	4.63	3.98
Z test Variable 5	-	-	-	-	-	-
Z test Variable 6	-	-	-	-	-	-

Escenario --->	H	I	J	K	L	M
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Cons	R e Cons	Red y Cons
Veces ABS Var 1 <2	96	80	94	96	95	9
Veces ABS Var 2 <2	11	16	24	8	1	39
Veces ABS Var 3 <2	-	-	20	7	78	-
Veces ABS Var 4 <2	-	-	91	-	-	1
Veces ABS Var 5 <2	-	-	-	-	-	-
Veces ABS Var 6 <2	-	-	-	-	-	-

Luego de analizar todos los nuevos escenarios planteados, son escogidos aquellos que resultan estadísticamente más significativos, los cuales son mostrados seguidamente:

Empresas de Gran Porte:

Escenario --->	1	8	11	12	D	G	M	N	P
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	SalReal
Variable 2	AREA	AREA	NUNC_AREA	NUNC_AREA	NUNC_AREA	SalReal	AREA	SAL	NUNC_AREA
Variable 3	SAL	SAL	SAL	SAL	SAL	NUNC_AREA	SALAR	CALIDAD	COMPLEX
Variable 4				COMPLEX	CALIDAD	COMPLEX	PNT_EMBT	COMPLEX	
Variable 5				CHUVA				NUNC_AREA	
Variable 6									

Escenario --->	1	8	11	12	D	G	M	N	P
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Z test Variable 1	-6.15	-5.13	-4.36	-5.19	-3.50	-2.31	-4.91	-4.31	4.96
Z test Variable 2	1.68	2.98	-2.95	-3.55	-2.07	10.57	3.39	7.61	-4.11
Z test Variable 3	9.64	8.19	8.28	9.10	5.93	-3.72	8.63	-3.64	9.36
Z test Variable 4	-	-	-	4.68	-2.98	5.86	6.13	4.75	-
Z test Variable 5	-	-	-	1.08	-	-	-	-2.14	-
Z test Variable 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Info Cenários --->	1	8	11	12	D	G	M	N	P
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc	Red y Merc
Veces ABS Var 1 <2	-	1	1	-	6	39	-	-	-
Veces ABS Var 2 <2	54	14	30	15	46	-	5	-	3
Veces ABS Var 3 <2	-	-	-	-	-	3	-	4	-
Veces ABS Var 4 <2	-	-	-	-	15	-	-	-	-
Veces ABS Var 5 <2	-	-	-	81	-	-	-	40	-
Veces ABS Var 6 <2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Empresas de Pequeño Porte:

Escenario --->	1	4	E	M
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Cons
Variable 1	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM	YEARDUM
Variable 2	SAL	SAL	LnRede_bt	AREA
Variable 3				SALAR
Variable 4				PNT_EMBT

Escenario --->	1	4	E	M
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Cons
Z test Variable 1	-2.25	-2.43	-2.17	-4.06
Z test Variable 2	3.45	3.51	3.05	-2.22
Z test Variable 3	-	-	-	4.91
Z test Variable 4	-	-	-	3.98

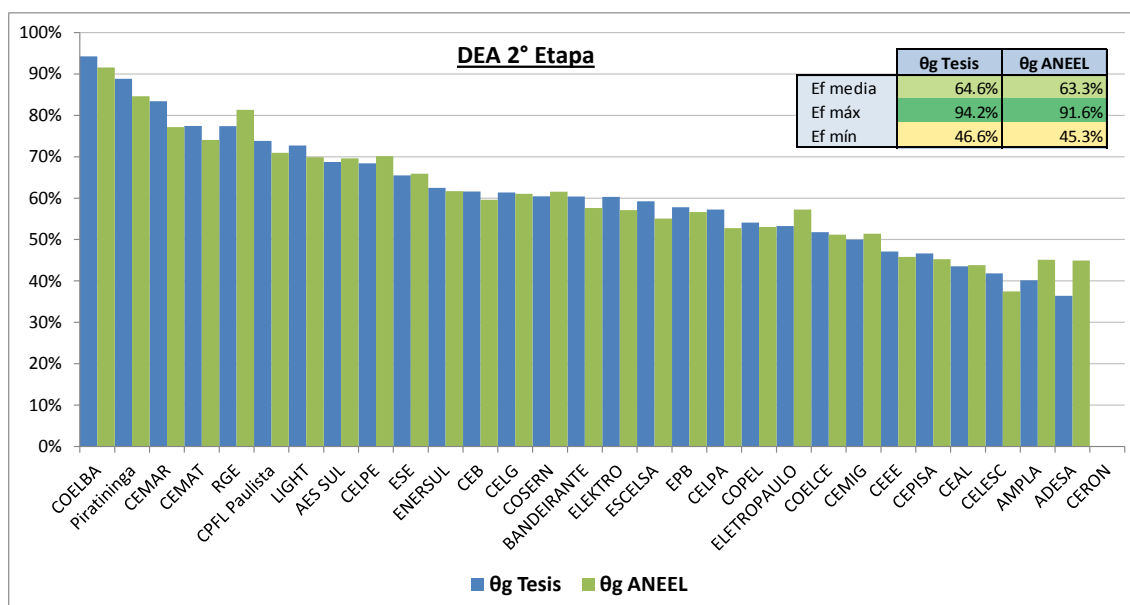
Escenario --->	1	4	E	M
Output DEA 1° Etapa -->	Red y Cons	Red y Merc	Red y Cons	Red y Cons
Veces ABS Var 1 <2	46	34	49	9
Veces ABS Var 2 <2	11	11	21	39
Veces ABS Var 3 <2	-	-	-	-
Veces ABS Var 4 <2	-	-	-	1

Se puede observar de este modo, que la conformación de los escenarios posee una mucho mayor significancia estadística. **Con las contribuciones realizadas se obtiene un resultado metodológicamente más robusto y estadísticamente válido, lo que lo convierte en una propuesta de comparación mucho más defendible, justa y objetiva.**

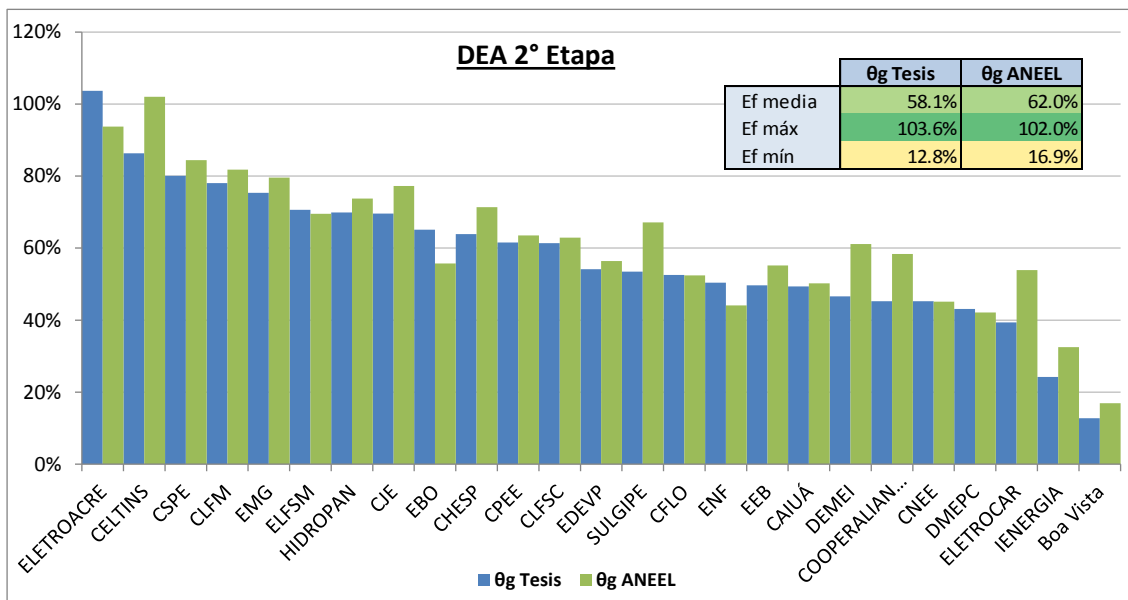
A continuación se presenta una comparación de los *rankings* resultantes de la media de los escenarios propuestos por la ANEEL, respecto a los *rankings* obtenidos con la media de los escenarios estadísticamente significativos seleccionados previamente. El ranking está conformado considerando de mayor a menor los scores de eficiencia de las empresas estudiadas. Sobre este ranking ANEEL aplicará finalmente distintos niveles de reconocimiento de costos a los efectos del cálculo tarifario de cada concesionaria.

Se exponen además los valores de eficiencia media, y los valores máximo y mínimo de eficiencia entre las variables analizadas.

Empresas de Gran Porte (GP):

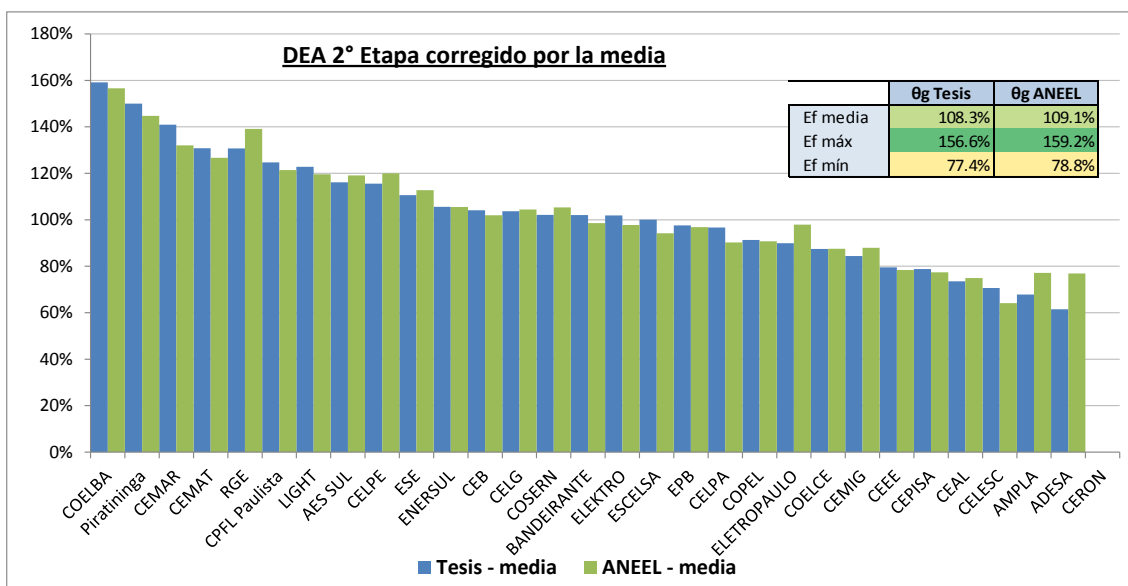


Empresas de Pequeño Porte (PP):

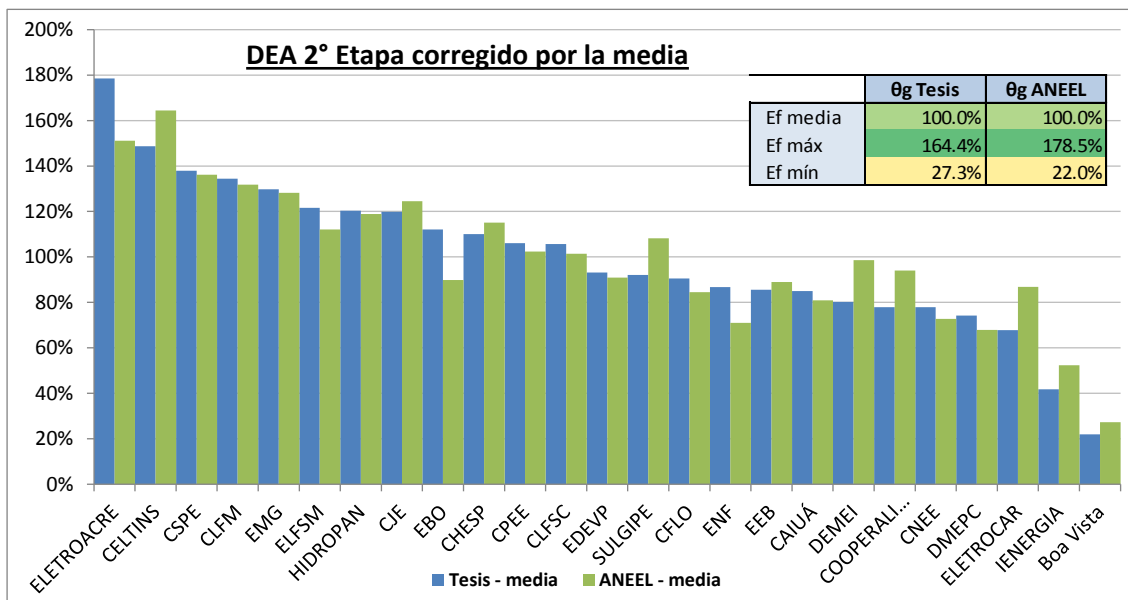


De la misma forma, son presentados los scores de ambos grupos de escenarios corregidos por la media de los mismos.

Empresas de Gran Porte:



Empresas de Pequeño Porte:



VI. Aplicación de los resultados

A continuación se incorpora un análisis que, si bien es complementario a la presente Tesis, expone claramente la trascendencia de la aplicación de la herramienta estudiada. El mismo es sumamente simplificado, pero permite demostrar la relevancia que tienen los resultados de la herramienta estudiada sobre la marcha de los negocios de las empresas distribuidoras.

Como se ha desarrollado previamente, debido a su condición de monopolios naturales, las empresas distribuidoras son reguladas por un ente regulador, por lo cual las mismas deben estar atentas no sólo a la marcha interna de sus negocios, procurando ganancias de eficiencia a efectos de mejorar la rentabilidad de las tarifas cobradas, sino también a la relación con este ente regulador, velando por la aplicación de herramientas técnicas que permitan fijar tarifas justas para que el servicio sea sustentable. Dentro de ese marco puede reconocerse el efecto de la aplicación de la herramienta desarrollada.

Como fue desarrollado, la misma define para cada empresa Scores de eficiencia a ser aplicados sobre los costos informados de las empresas, con lo cual y al ser corregidos estos Scores por la media de las empresas de cada grupo, las empresas más eficientes son premiadas reconociéndoles un nivel más alto de costos, como una manera de avalar las eficiencias logradas y para mantener y acrecentar los incentivos de modo que se continúen reduciendo los costos de prestación del servicio, y las empresas menos eficientes son castigadas con el reconocimiento de un nivel de costos menor al que presentan, para obligar a las mismas a ser más eficientes y así ir mejorando la eficiencia de todo el sistema eléctrico regulado.

Con lo cual el siguiente ejercicio muestra de manera muy simplificada el efecto que tiene haber obtenido un determinado nivel de eficiencia en los costos de explotación sobre el resultado neto del negocio y su rentabilidad.

Se tomaron algunas empresas como muestra, donde se podrá identificar distintos efectos sobre los costos. En todos los casos se expone información del año 2008, expresada en millones de Reales. Se expone además un resumen del estado de resultados de las mismas, donde pueden reconocerse en primera instancia los ingresos por ventas y los costos de abastecimiento de energía y potencia. La diferencia entre los dos corresponde al margen bruto o Valor Agregado de Distribución (VAD) de este tipo de empresas. Al éste se le restan los costos de explotación **REALES**, el costo de mantenimiento de capital (depreciaciones y amortizaciones) y el resultado financiero neto en los casos que corresponda. De esta forma se obtiene finalmente el resultado neto de las compañías y su rentabilidad sobre activos fijos netos (se la indica como ROE dado que al contar con pasivos muy acotados, el patrimonio neto prácticamente coincide con los activos fijos netos de depreciaciones), como se muestra a continuación:

Datos [año 2008]	Unidad	Empresa							
		CEEE	CEMIG	AMPLA	CELESC	COPEL	CPFL Paulista	Piratinga	Elektro
Ingresos por ventas sin impuestos	Millones R\$	1 704	5 515	2 170	2 857	3 603	3 943	1 750	2 598
Costos de Abastecimiento	Millones R\$	-1 337	-2 876	-1 268	-1 968	-2 130	-2 834	-1 311	-1 329
Margen Bruto	Millones R\$	366	2 639	903	889	1 473	1 108	439	1 269
Costos Operativos Reales	Millones R\$	-276	-1 576	-467	-639	-753	-368	-164	-399
Depreciaciones y Amortizaciones	Millones R\$	-75	-354	-154	-117	-176	-150	-54	-117
Resultado Financiero	Millones R\$	-	-	-	-	-	-	-	-73
Resultado Neto del ejercicio	Millones R\$	16	709	281	133	544	590	222	680
Base Tarifaria de Activos Fijos Netos	Millones R\$	917	6 775	3 858	3 468	2 998	2 038	925	2 240
ROE	%	1.7%	10.5%	7.3%	3.8%	18.2%	29.0%	24.0%	30.4%

Puede observarse la divergencia que puede existir entre los resultados de las distintas compañías, siendo que a todas se les aplica una misma tasa de retorno sobre el capital. No obstante y como es lógico, existen diferencias muy importantes en la conformación de las redes, prácticas de operación y mantenimiento de las mismas, estructuras de personal, y muchos otros grupos de costos que definen a cada una de estas empresas, lo que las hace diferenciarse ya sea para bien como para mal.

Como paso siguiente, y a los fines de evaluar el efecto que pueden tener los resultados del benchmarking realizado sobre la rentabilidad de cada compañía, se aplican los Scores obtenidos sobre el mismo cuadro de resultados, considerando que los mismos reducen el nivel de ingresos reconocidos a cada distribuidora, y que las mismas mantienen su nivel de costos reales. Esto es efectivamente lo que sucede al aplicar estas metodologías, dado que el recorte sobre los costos reconocidos es inmediato, mientras que la reducción de los costos reales es una tarea mucho más lenta, debido a que se deben reconocer y corregir prácticas internas ineficientes, con el tiempo que ello naturalmente insume.

Los resultados se exponen a continuación, en primer término los scores resultantes de la metodología de ANEEL y los scores que responden a las correcciones planteadas en la presente Tesis:

Eficiencia Benchmarking									
ANEEL - corregido por la media	%	78%	88%	77%	64%	91%	121%	145%	98%
Tesis - corregido por la media	%	80%	84%	68%	71%	91%	125%	150%	102%

Y finalmente se expone la aplicación de los scores de ambos escenarios:

Escenario con requerimiento de ingresos reconocidos con aplicación de Benchmarking ANEEL corregido por la media.									
Margen Bruto	Millones R\$	307	2 449	796	659	1 403	1 187	512	1 260
Costos Operativos Reales	Millones R\$	-276	-1 576	-467	-639	-753	-368	-164	-399
Depreciaciones y Amortizaciones	Millones R\$	-75	-354	-154	-117	-176	-150	-54	-117
Resultado Financiero	Millones R\$	-	-	-	-	-	-	-	-73
Resultado Neto del ejercicio	Millones R\$	-44	520	175	-96	474	669	295	671

ROE aplicando BenchMarking	%	-4.8%	7.7%	4.5%	-2.8%	15.8%	32.8%	31.9%	30.0%
Delta ROE	%	-375%	-27%	-38%	-173%	-13%	13%	33%	-1%

Escenario con requerimiento de ingresos reconocidos con aplicación de Benchmarking TESIS corregido por la media.									
Margen Bruto	Millones R\$	310	2 394	752	701	1 408	1 199	521	1 276
Costos Operativos Reales	Millones R\$	-276	-1 576	-467	-639	-753	-368	-164	-399
Depreciaciones y Amortizaciones	Millones R\$	-75	-354	-154	-117	-176	-150	-54	-117
Resultado Financiero	Millones R\$	-	-	-	-	-	-	-	-73
Resultado Neto del ejercicio	Millones R\$	-40.5	464.1	130.8	-54.8	479.2	681.3	303.8	687.6

ROE aplicando BenchMarking	%	-4.4%	6.9%	3.4%	-1.6%	16.0%	33.4%	32.8%	30.7%
Delta ROE	%	-355%	-35%	-53%	-141%	-12%	15%	37%	1%

Se observa claramente el efecto trascendental que tiene el hecho de que sea aplicada la herramienta estudiada sobre los costos de estas compañías, haciendo incluso que algunas de estas presenten pérdidas en el ejercicio. Es

determinante entonces conocer a fondo esta herramienta para poder prevenir ineficiencias a fines de mejorar el score y evitar un recorte tan importante de costos, que pueda comprometer la salud financiera y operativa de la compañía.

Desde un punto de vista de negocios se trata de la variable más sensible de este tipo de compañías para asegurar la prestación del servicio de manera sustentable, y que puede comprometer sus resultados al punto de que las mismas presenten pérdidas irre recuperables.

VII. Indicadores de gestión

Como se adelantó en la introducción del presente trabajo de Tesis, vale la pena aprovechar las bases de datos utilizadas para la determinación de la DEA, para llevar a cabo otros análisis de benchmarking, que pueden resultar de una gran utilidad para las compañías, dado que les permite contar con información relevante y de calidad como soporte para los procesos de toma de decisiones empresariales.

Este análisis de benchmarking es ahora realizado a nivel de ratios e indicadores que brindan comparaciones específicas de la situación de cada empresa relativas a un tema en particular, pudiéndose obtener otras informaciones de nivel menos agregado, tanto para conocer el nivel de la misma como para compararse con las demás empresas analizadas.

De las bases utilizadas y de información que fue expresamente relevada de fuentes oficiales presentes en internet, se pudieron determinar los siguientes ratios e indicadores:

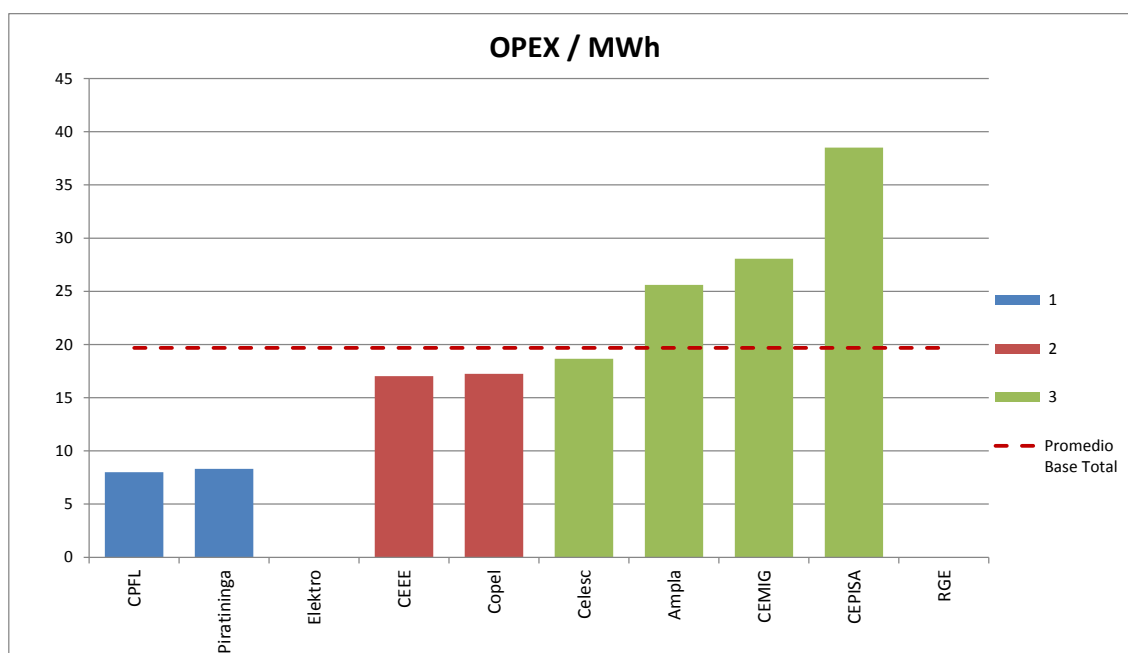
- **OPEX / MWh:** Costos Operativos por unidad de energía.
- **CAPEX / MWh:** Costos de Capital por unidad de energía.
- **(OPEX+CAPEX)/MWh:** Costos Totales por unidad de energía.
- **SAIDI (DEC):** Duración de interrupciones del servicio.
- **SAIFI (FEC):** Frecuencia de interrupciones del servicio.
- **Perdidas de Energía TOTAL (%)**
- **MWh / km:** energía vendida sobre kilómetros de red.
- **Red Total (km)**
- **OPEX / Cliente:** Costos Operativos por cliente.
- **Dem Max (kW) / Km:** Potencia máxima sobre kilómetros de red.
- **Salario Medio**
- **OPEX/Km:** Costos Operativos sobre kilómetros de red.
- **OPEX/MW:** Costos Operativos sobre unidad de potencia.

- **Cientes / Empleado:** número de clientes por empleado.
- **Costo Personal/OPEX (%):** participación de costos de personal sobre total de Costos Operativos.
- **AFND/A:** Activo Fijo Neto sobre Depreciaciones y Amortizaciones.
- **Cliente/Km:** Clientes por kilómetro de red.

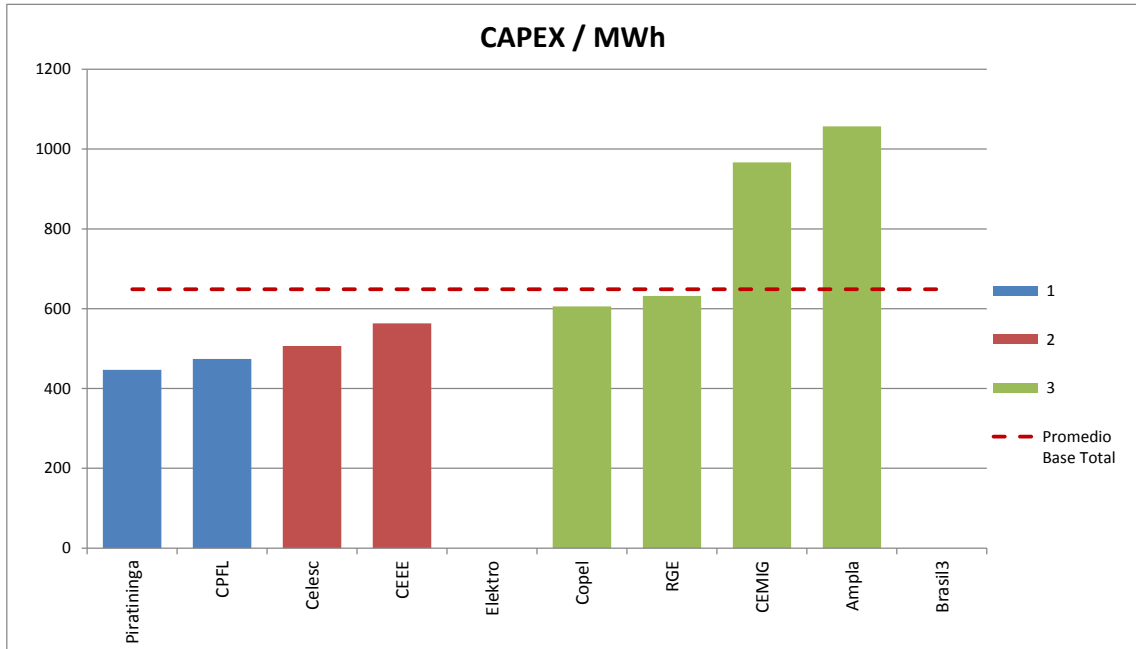
Estos indicadores permiten contar con lecturas específicas que son de enorme utilidad a la hora de reconocer aquellas áreas en que la compañía se encuentra entre las mejores del mercado y en cuáles no, de manera de orientar y fundamentar la toma de decisiones, muchas veces críticas, para la marcha de los negocios de estas organizaciones.

A su vez, los mismos fueron consolidados en una herramienta de tipo de gráfico dinámico, que permite visualizar la situación del grupo de compañías, respecto a un indicador en particular por vez. Esta herramienta se entrega adjunta a la presente Tesis en formato digital. No obstante, se exponen a continuación ejemplos de los resultados de algunos de estos indicadores.

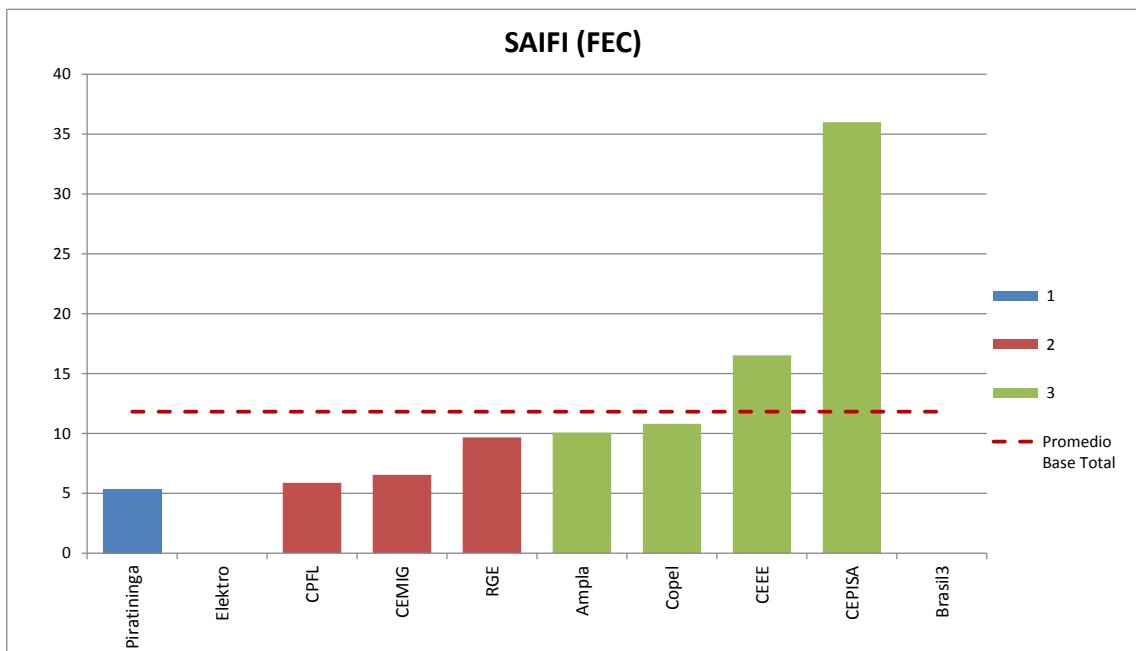
OPEX / MWh: Costos Operativos por unidad de energía vendida.



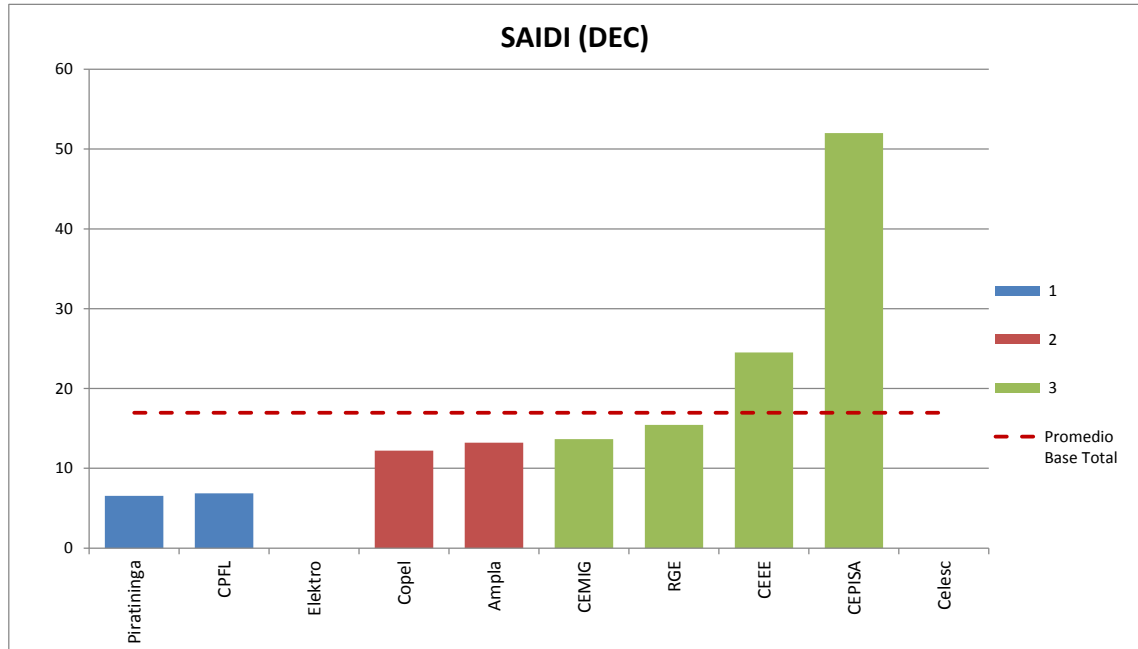
CAPEX / MWh: Costos de Capital por unidad de energía vendida.



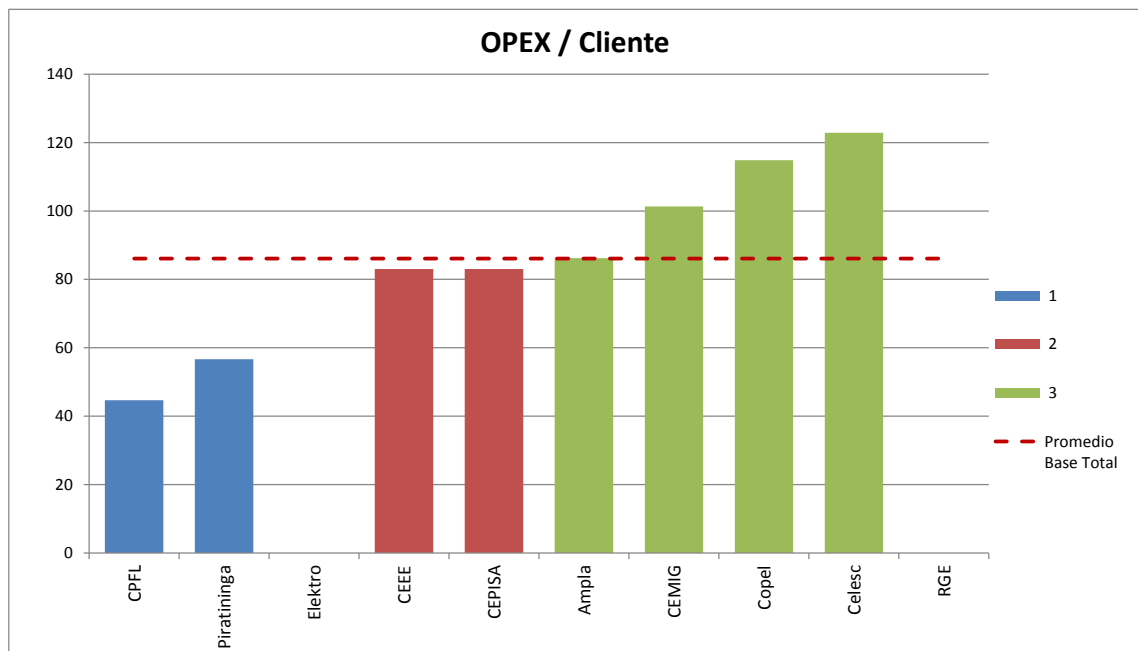
SAIFI (FEC): Frecuencia de interrupciones del servicio.



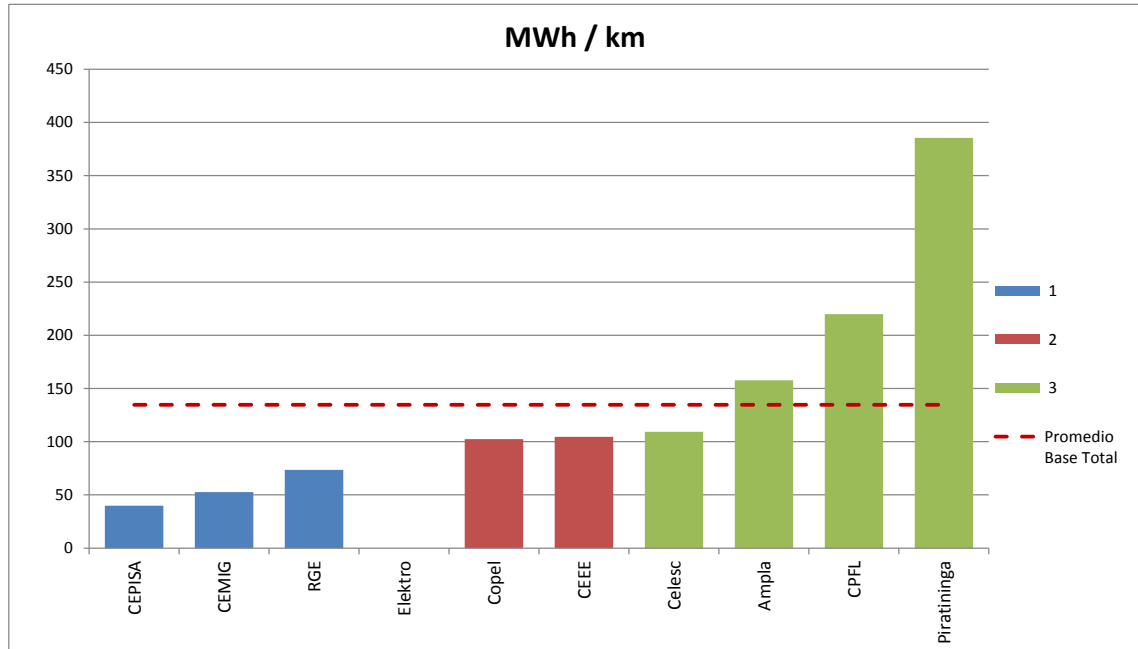
SAIDI (DEC): Duración de interrupciones del servicio.



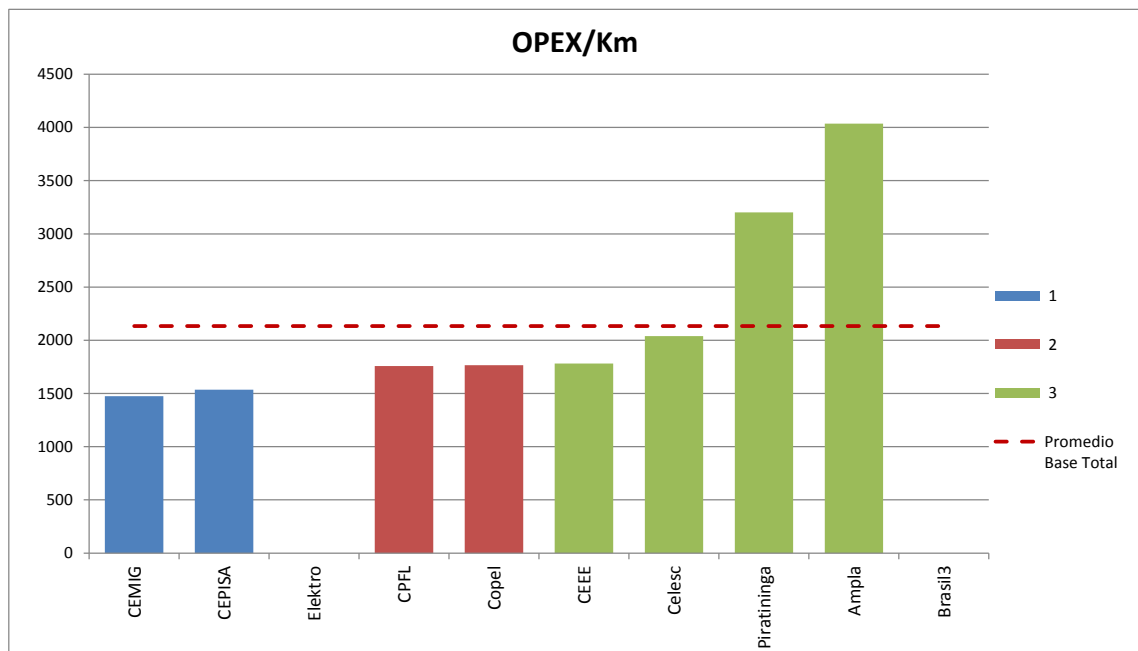
OPEX / Cliente: Costos Operativos por cliente.



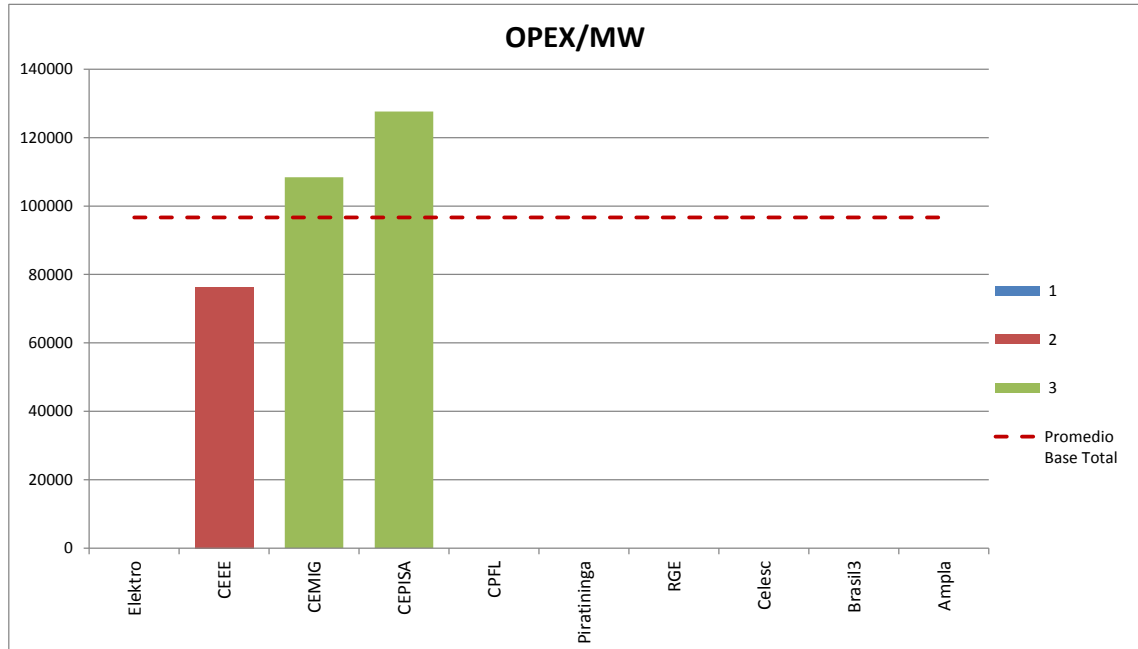
MWh / km: energía vendida sobre kilómetros de red.



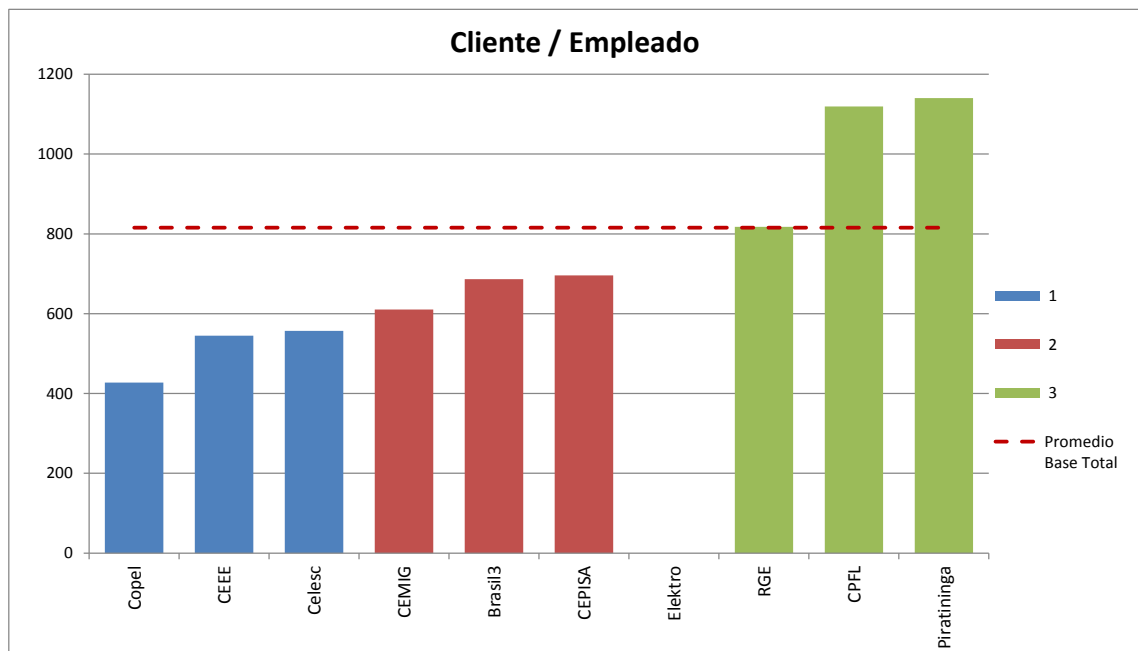
OPEX/Km: Costos Operativos sobre kilómetros de red.



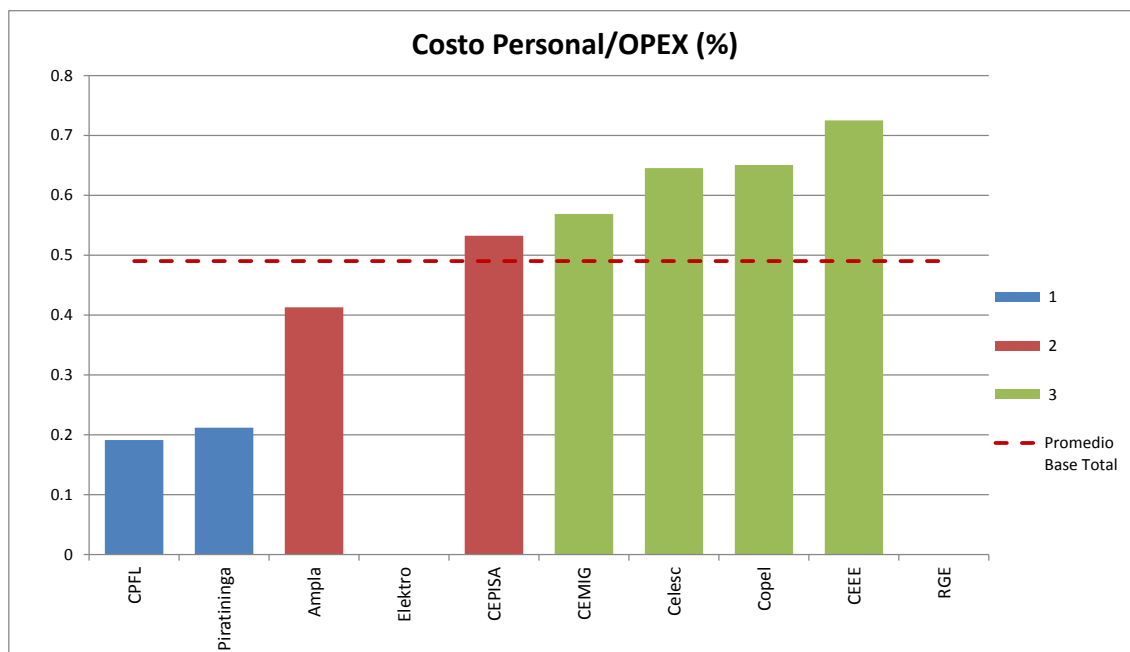
OPEX/MW: Costos Operativos sobre unidad de potencia.



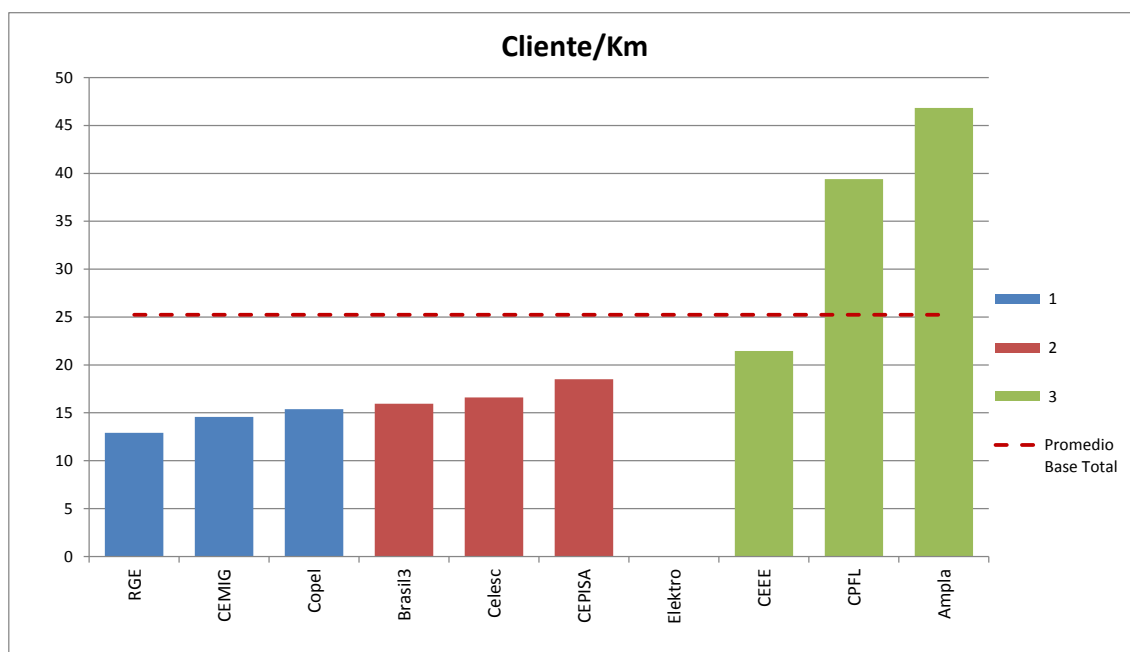
Cientes / Empleado: número de clientes por empleado.



Costo Personal/OPEX (%): participación de los costos de personal sobre los Costos Operativos.



Cliente/Km: Clientes por kilómetro de red.



VIII. Conclusiones

Como se desprende del desarrollo del marco conceptual y de la introducción a las metodologías de benchmarking, se reconoce la inmensa necesidad y utilidad de contar con herramientas y metodologías claras e imparciales para la determinación técnica de los costos eficientes de operación de las empresas de servicios públicos, como lo son las distribuidoras de energía eléctrica. Por tal motivo se propone en este estudio una profundización en la temática, y un posterior análisis de un caso particular en el mercado eléctrico a los fines de generar contribuciones sobre el mismo. El caso elegido corresponde a la metodología de benchmarking de los costos de operación propuesta por la ANEEL para las empresas distribuidoras de electricidad de Brasil, sobre el cual además se efectúa un análisis de aplicación real de los resultados alcanzados.

Respecto a la DEA estudiada, en primer término se puede afirmar que la metodología es completamente válida en función a la teoría vigente y se ajusta al estado del arte, siempre que es recomendada en la más actualizada bibliografía, su aplicación, y particularmente en dos etapas, tal como se expone en el ejemplo de cálculo para la ANEEL, donde en una primer etapa se calcula la DEA con las variables endógenas de las distribuidoras, y en una segunda etapa se regresionan estos scores con las variables exógenas a las mismas mediante el uso del método Tobit, con la aplicación de técnicas de bootstrap.

En este inciso es donde se genera una primera importante contribución al trabajo propuesto por la ANEEL, dado que la misma no considera una validación de la significancia estadística de las variables y escenarios propuestos, cuando el uso del método Tobit de regresión sí lo permite. Realizar esta validación permite evaluar tanto las variables como los escenarios, pudiendo escoger aquellos que mejor expliquen los costos operacionales. Esto además refuerza la validez de la metodología presentada y de los resultados

obtenidos, haciendo que los mismos sean metodológicamente consistentes y regulatoriamente objetivos y defendibles.

Otra importante contribución se realiza al incorporar nuevas variables que el trabajo propuesto por ANEEL no estaba tomando en consideración y tienen un fuerte poder explicativo sobre los costos operacionales de las compañías eléctricas. Algunas de estas son por ejemplo, el porcentaje de redes de baja tensión, el nivel de pérdidas no técnicas y el nivel de calidad de servicio de las distribuidoras. La consideración de estas variables y de otras más permite ampliar el volumen de análisis y las posibilidades de encontrar aquellos escenarios y variables que mejor determinen la función de costos operacionales en estudio.

Asimismo, al aplicar estos scores sobre los estados de resultados simplificados de algunas de estas empresas pudo observarse el importante efecto que los mismos tienen sobre el resultado del negocio, lo que demuestra la trascendencia de una correcta definición y aplicación de estas técnicas de benchmarking para el normal desarrollo de los negocios de estas empresas.

Por otra parte, se aprovechó la información disponible en la base de datos, la cual fue complementada con datos obtenidos de fuentes oficiales en internet, a fines de obtener indicadores específicos que permiten evaluar la situación de cada empresa y, a la vez, compararse con otras similares. Estos indicadores son de invaluable aporte en el proceso de toma de decisiones gerenciales de estas compañías.

Finalmente, se destaca la importancia de tomar en consideración la metodología de benchmarking para su aplicación en estudios de eficiencia comparativa en otras industrias o actividades, dado que resultan ser de gran utilidad y permiten contar con una medida de comparación con colegas y competidores, a efectos de mejorar la propia gestión, reconocer las mejores prácticas del mercado donde actúa la compañía analizada y encaminar los esfuerzos hacia las mismas.

IX. Bibliografía

Aldaz, Natalia y Millán, Joaquín A. (2003) – “*Análisis Malmquist y DEA intertemporal de las agriculturas de la Unión Europea*”. Economía Agraria y Recursos Naturales, Vol 3. Páginas 45-64.

Aldaz, Natalia y Millán, Joaquín A. (2002) – “*Eficiencia y cambio técnico en DEA con datos de Panel*”. Economía Aplicada, N° 29, Vol X. Páginas 163-176.

Álvarez Pinilla, Antonio (2001) “*La Medición de la Eficiencia y la Productividad*”, Ed. Pirámide, Madrid.

Arnoletto, Eduardo y Ana Carolina Diaz (2006) – “*Metodología de la Investigación*” – Apuntes de cátedra.

Banker R.D., Charnes A. y Cooper W.W. (1984) – “*Some models for estimating technical and scale efficiencies in Data Envelopment Analysis*”. Management Science, 30, 1078-1092.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - **ANEEL. Nota Técnica N° 265/2010-SRE/ANEEL** – “*Custos Operacionais.*” Brasília, DF: ANEEL, 2010.

Catherine J. Morrison Paul – Donald Siegel (1999), “*Estimation of Scale Economies Underlying Growth and Productivity: The Empirical Implications of Data Aggregation*”, Southern Economic Journal.

Coelli, Tim; Estache, Antonio; Perelman, Sergio; Trujillo, Lourdes (2003) “*A Primer on Efficiency Measurement for Utilities and Transport Regulators*”, World Bank Institute, Washington DC.

Cooper, William; Lawrence, Seiford y Zhu, Joe (2004) “*Handbook on Data Envelopment Analysis*”, Kluwer Academic Publishers, USA.

Damonte, Ana (2010) – “*Benchmarking de costos de operación de empresas latinoamericanas distribuidoras de gas natural*”. Uso de frontera estocástica.

David A. Huettner – John H. Landon (1980), “*Electric Utilities: Scale Economies and Diseconomies*”.

Delfino, José A. (2003) “*Microeconomía. Principios básicos, aplicaciones y ejercicios*”. Segunda edición. Ediciones Eudecor.

Greene, William H. (1998), *“Análisis econométrico”*. Tercera Edición. Editorial Prentice Hall.

Greene, William H. (2008). *“The Econometric Approach to Efficiency Analysis”*, en *The Measurement of Efficiency*, H.Fried, K Lovell and S. Schmidt, eds., Oxford University Press,

Harold Koontz, Heinz Weihrich. (2004) *“Administración. Una perspectiva Global”*, Mc Graw Hill.

Hernández Sampieri, Roberto, Fernández Collado, Carlos y Baptista, Pilar (2003) – *“Metodología de la investigación”*. (3° Edición). McGraw Hill.

Jamasb T. y Pollit M. (2001) – *“International benchmarking and yardstick regulation: an application to European electricity utilities”*, DAE Working Paper 01/15, Department of Applied Economics, University of Cambridge.

Laffont, Jean–Jacques (1994), *“The new economics of regulation ten years after”*, *Econometrica*, volumen 62, No 3, mayo.

Laffont, J. J. y Martimort, D. (2002) *“The theory of incentives: the principal-agent model”*, Princeton University Press, Capítulo 4.

Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman. (2000) *“Administración de Operaciones”*, Prentice Hall.

M. J. Farrel (1957), *“The Measurement of the Productive Efficiency”*, *Journal of Royal Statistical Society*, Part III.

Marie Anne Plagnet (2006) – *“Use of benchmarking methods in Europe in the electricity distribution sector”*.

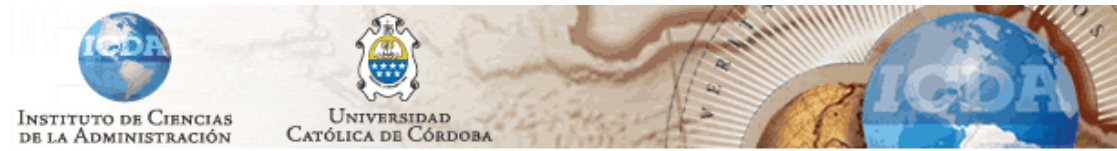
Martin A. Rodriguez Pardina – Martin A. Rossi – Christian A. Ruzzier (1999), *“Fronteras de Eficiencia en el Sector de Distribución de Energía Eléctrica: La Experiencia Sudamericana”*.

Martin A. Rossi – Christian A. Ruzzier, *“On the Regulatory Application of Efficiency Measures”*

Mendicoa, Gloria E. (2003) – *“Sobre Tesis y Tesistas: Lecciones de enseñanza – aprendizaje”*. Buenos Aires: Espacio Editorial.

Pollit M. (1995) – *“Ownership and performance in electric utilities”*, Oxford University Press, Oxford.

- Raúl Eduardo Sanhueza Hormazábal (2003)**, *“Fronteras de Eficiencia, Metodologías para la determinación del Valor Agregado de Distribución”*. Chile.
- Ray, Subhash y Desli, Evalgelia (1997)** *“Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries: Comment”*, The American Economic Review, Vol. 87, N° 5, páginas 1033-1039.
- Shepard R.W. (1953)** – *“Cost and production functions”*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Simar, Léopold y Wilson, Paul W. (1998)** – *“Productivity Growth in Industrialized Countries”*.
- Simar, Léopold y Wilson, Paul W. (2007)** – *“Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes”*. Journal of Econometrics 136. Páginas 31-64.
- Subal C. Kumbhakar – C. A. Knox Lovell (2000)**, *“Stochastic Frontier Analysis”*, Cambridge University Press.
- Thompson y Strickland. (2005)** *“Administración Estratégica”*, Mc Graw Hill.
- Tim Coelli, D. S. Prasada Rao and George E. Battese (1998)**, *“An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis”*, Kluwer Academic Publishers.
- Tim Coelli, D. S. Prasada Rao, Christopher J. O’Donnell and George E. Battese (2005)**, *“An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis”*, Second Edition. Springer.
- Tim Coelli, Antonio Estache, Sergio Perelman e Lourdes Trujillo (2003)** *“Una introducción a las medidas de eficiencia para reguladores de servicios públicos y de transporte”*, Banco Mundial – Alfaomega Colombiana S.A.
- Tone, Kaoru; Liu, Junming (2008)** *“A Multistage Method to Measure Efficiency and its Application to Japanese Banking Industry”*, Socio-Economic Planning Sciences, N° 42, pp 75-91.
- Tsutsui, Miki y Tone, Kaoru (2008)** – *“Separation of uncontrollable factors and time shift effects from DEA scores”*.
- Quantum Argentina (2010)** - *“Levantamento Internacional e pesquisa acadêmica da experiência em benchmarking”*.



Weyman- Jones T. (1992) – “*Problems of yardstick regulation in electricity distribution*”, in Bishop, Kay and Mayer. *The regulatory challenge*. Oxford University Press.