

La Eficiencia del Sector Eléctrico en México 2008-2015

*Electricity Sector Efficiency in Mexico 2008-2015
A sector-based approach*

(Recibido: 13/junio/2018 –Aceptado: 21/noviembre/2018)

*José César Lenin Navarro Chávez**
*Odette V. Delfin Ortega***
*Atzimba Díaz Pulido****

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la eficiencia técnica global, la eficiencia técnica pura y la eficiencia de escala del sector eléctrico de México durante el periodo 2008-2015, instrumentando la metodología del Análisis de la Envolvente de Datos (DEA) y haciendo uso del estadístico *bootstrap* con la finalidad de robustecer los resultados. Se incorpora además, el análisis *benchmarking* y *slacks*. Del estudio se desprende que, ninguna de las trece divisiones revisadas fue eficiente; no obstante, las regiones Norte y Baja

* Profesor-Investigador del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Email: cesar126@hotmail.com.

** Autor para correspondencia.

** Profesor-Investigador del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Email: odettedelfin@hotmail.com.

*** Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Email: atzimba_diaz@hotmail.com.

California con valores de 0.932 y 0.917 respectivamente, alcanzaron los niveles más altos de eficiencia, mientras que la región Sureste con un valor del 0.483, tuvo el menor nivel de eficiencia. Se concluye que si bien se ha tenido la capacidad de abastecer la demanda de energía eléctrica que el país requiere, es importante continuar con estudios de esta índole, que coadyuven en la formulación de políticas orientadas a la mejora de la eficiencia del sector.

Palabras Clave: Eficiencia técnica, DEA, Sector Eléctrico de México.

Clasificación JEL: C61, L94, Q49

Abstract

This research aims to determine the technical efficiency of Mexico's electricity sector in period 2008-2015, using Data Envelopment Analysis methodology with bootstrap in order to give more validity to observations obtained. With the study it was possible to determine that none of the thirteen divisions analyzed obtained the optimum level of efficiency, however, Baja California and North divisions obtained the highest efficiency indexes in the sector in the study period. Otherwise, the Southeast division was the least efficient. It is concluded that although it has been able to supply the demand for electric energy that the country requires, it is important to continue with studies of this nature, which allow the formulation of policies aimed at improving efficiency of the sector.

Key words: Technical efficiency, DEA, Electricity Sector of Mexico.

JEL Classification: C61, L94, Q49

Introducción

La industria eléctrica como tal, se encuentra integrada por los procesos de generación, transmisión, distribución y ventas, siendo desde el punto de vista económico, un sector estratégico para el desarrollo y funcionamiento de las actividades productivas y el crecimiento económico de nuestro país (CFE, 2012).

Considerando una etapa en la que, después de encontrarse sumergido en un monopolio nacional predominante desde 1960, se ejerce el modelo de comprador único implementado a partir de 1992, tras la negociación del Tratado de Libre Comercio de Estados Unidos con México y Canadá (Molina, 2017). En las últimas décadas, este sector se ha visto inmerso en diferentes procesos de transformación de su estructura y marco regulatorio, dirigiéndose hacia su liberalización y apertura a la competencia mediante la creación de nuevos mercados con características y requerimientos particulares (Bazán, 2011).

El objetivo de este trabajo es determinar la eficiencia técnica global, la eficiencia técnica pura y la eficiencia de escala del sector eléctrico nacional durante el periodo 2008-2015. En tanto que, la hipótesis de trabajo es que la eficiencia de escala fue la que determinó la eficiencia técnica global del sector eléctrico en México durante el periodo 2008-2015.

Hoy en día el consumo de energía eléctrica es una necesidad indispensable. La importancia de la electricidad está en que es una de las principales formas de energía usadas en el mundo actual. Las comunicaciones, el transporte, el abastecimiento de alimentos, y la mayor parte de los servicios de los hogares, oficinas y fábricas dependen de un suministro confiable de energía eléctrica

A medida que los países se industrializan consumen cantidades de energía cada vez más grandes, el consumo mundial de energía ha aumentado rápidamente en los últimos años, según los estudios realizados, el promedio del consumo de electricidad por habitante es alrededor de diez veces mayor en los países industrializados que en los países en desarrollo, por lo que se puede decir que el consumo de energía eléctrica está ligado directamente al desempeño de la economía de un país (Secretaría de Energía, 2013).

La generación de energía eléctrica en México inició a fines del siglo XIX. Para el año de 1937 este sector se encontraba prácticamente controlado por un reducido número de empresas extranjeras con fines específicamente lucrativos, por lo que solo abastecían poblaciones con capacidad de pago (Trelles, 2016).

Debido a que estas empresas no operaban con normas definidas, el gobierno no tenía capacidad jurídica para legislar sobre la materia, el 14 de agosto de 1937 se creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional encargado de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica a través de un esquema que diera a la nación el control de cada uno de los procesos y recursos involucrados, a fin de abastecer un mercado en crecimiento y satisfacer la demanda de consumidores de bajos ingresos.

La CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos al posibilitar el bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades. Este organismo definió y unificó los criterios técnicos y económicos del sistema eléctrico nacional (SEN), normalizando los voltajes de operación, con la finalidad de estandarizar los equipos, reducir sus costos, los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado e integró los sistemas de transmisión en el sistema interconectado nacional eléctrico (Trelles, 2016).

Alrededor de los años 70, se decretó a nivel constitucional, que correspondía exclusivamente a la nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer

energía eléctrica que tenga por objeto la prestación del servicio público. No se otorgan concesiones a los particulares, la nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines (Diario oficial de la federación, 1975).

Durante los siguientes años se llevó a cabo un complicado proceso de integración. Fue nuevamente en 1992, cuando se realizaron cambios en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en el que se permitió la participación de particulares en la generación de energía eléctrica. En 1999 se presentó la iniciativa encaminada a crear las condiciones para abrir e incentivar la inversión privada en el sector (Trelles, 2016).

El sector eléctrico nacional está conformado por dos sectores, el público y el privado. El servicio público se integra por la CFE y las centrales construidas por los Productores Independientes de Energía (PIE), éstos últimos entregan la totalidad de su energía a CFE para el servicio público de energía eléctrica. Por otro lado, el sector privado agrupa las modalidades de cogeneración, autoabastecimiento, usos propios y exportación. De estas modalidades, el autoabastecimiento es el que cuenta con mayor capacidad, este tipo de modalidad es utilizado en los sectores industrial, comercial y particularmente, el sector servicios (Secretaría de Energía, 2013).

La infraestructura de este sector, en términos de su cadena de valor, se conforma de las fases de generación, transformación y transmisión en alta tensión, distribución en media y baja tensión, así como ventas a usuarios finales que incluyen procesos de medición y facturación (Secretaría de Energía, 2013).

Los principales sectores de los cuales se hace un análisis en las ventas de energía eléctrica en el país son el industrial, comercial, residencial, servicios y bombeo agrícola. En el país se produce la energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes del energético primario. Se cuenta con centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermo-eléctricas, eólicas y una nucleoelectrica. De acuerdo con la Secretaría de Energía (2013), el 96.84% de la población utiliza la electricidad. La CFE proporciona el servicio de electricidad a todo el país a través de 13 divisiones de distribución formalmente constituidas, estas son: Baja California, Noroeste, Norte, Golfo Norte, Golfo Centro, Bajío, Jalisco, Occidente, Centro Sur, Centro Oriente, Oriente, Sureste, Peninsular.

Este artículo está estructurado en cuatro apartados, además de esta introducción, en el primero se presenta la revisión de la literatura sobre la medición de la eficiencia en el sector eléctrico, en el segundo se encuentra la metodología y el desarrollo del modelo, en el tercero se encuentran los resultados, en el cuarto se hace una discusión de resultados y finalmente se presentan las conclusiones.

1. Revisión de Literatura

El modelo de Análisis de la Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés) es un método no paramétrico de programación lineal que facilita la construcción de una superficie envolvente o frontera eficiente a partir de los datos disponibles del conjunto de entidades objeto de estudio conocidas como *Decision Making Unit* DMU (Unidad de toma de decisiones) y cada una de ellas obtiene un peso o valor de los *inputs* y *outputs* que maximizan el valor de eficiencia de su producción (Cooper, Seiford, y Tone, 2006).

La principal ventaja de DEA consiste en que no está basado en el conocimiento de la función de producción y permite encontrar el conjunto de empresas eficientes a partir de las cuales, mediante combinaciones lineales, obtiene la envolvente o frontera. Esto representa una ventaja por su mayor flexibilidad, aunque para muchos su inconveniente fundamental radica en la falta de propiedades estadísticas de los resultados obtenidos con la programación lineal (Raffo y Ruiz, 2005).

Koopmans (1951) fue el primero en definir formalmente la eficiencia técnica, interpretándola como un vector compuesto por *inputs* y *outputs* y será técnicamente eficiente si es tecnológicamente imposible aumentar un producto sin que se reduzca simultáneamente otro producto o reducir un *input* sin que simultáneamente se incremente otro *input*.

Inspirado en los trabajos de Debreu (1951) y Koopmans (1951), Farrell (1957) estableció las bases teóricas fundamentales de los modelos de frontera de eficiencia. En su trabajo diferenció entre eficiencia técnica y eficiencia *asignativa*. En todo proceso de producción, la eficiencia técnica orientada a los *inputs* viene dada por el consumo mínimo necesario de *inputs* para lograr un determinado volumen de *outputs*. Por otra parte, una empresa es eficiente en precios o *asignativamente* cuando combina los *inputs* en la proporción que minimiza sus costos.

Posteriormente Charnes, Cooper y Rhodes (1978) desarrollaron el modelo original del análisis de la envolvente de datos para calcular la eficiencia relativa de una firma al trabajar con rendimientos constantes a escala. Son Banker, Charnes y Cooper (1984) quienes permitieron hacer menos rígidos estos modelos, al considerar las situaciones donde están presentes los rendimientos variables a escala.

En su forma general el modelo matemático DEA, considera n unidades de decisión, para evaluar su eficiencia, cada una de ellas consume m *inputs* diferentes que permiten producir s *outputs* distintos. Por lo tanto el modelo dual se genera a partir de las matriz X (matriz de *inputs*; donde $i=1, \dots, m$) y la matriz Y (matriz de *outputs*; donde $i=1, \dots, s$), asumiéndose que $X_{ij} > 0$ $Y_{ij} > 0$. Tal como se muestra a continuación (Coll y Blasco, 2006):

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{ml} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{sl} & X_{s2} & \dots & Y_{sn} \end{pmatrix}$$

En el modelo de rendimientos constantes a escala o modelo CRS de orientación *input*, un cambio en los niveles de *inputs* conlleva a un cambio proporcional en el nivel del *output*, el cual requiere tantas optimizaciones como unidades de decisión, por lo tanto se busca reducir los *inputs*, sin alterar el nivel de producción. Su fórmula, se encuentra establecida de la siguiente manera (Coll y Blasco, 2006):

$$\begin{aligned} \theta^* &= \min \theta \lambda \theta \\ \text{Sujeto a } Y\lambda &\geq Y_i \\ X\lambda &\leq \theta X_i \\ \lambda &\leq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Donde θ indica la distancia en *inputs* a la envolvente de datos, es decir la medida de eficiencia. X es la matriz de *inputs*, Y es la matriz de *outputs*, λ es el vector de pesos o intensidades, X_i , Y_i representan los valores de *inputs* y *outputs* respectivamente (Coll y Blasco, 2006).

Banker, Charnes y Cooper (1984) proponen una modificación al programa lineal original de rendimientos a escala constantes, ya que consideran que situaciones como la competencia imperfecta, las restricciones en el acceso a fuentes de financiación, etc., pueden provocar que las unidades no operen a escala óptima, por lo cual agregan una restricción al modelo original CRS: $N1'\lambda = 1$, De tal manera que el modelo de rendimientos variables a escala (VRS) con orientación *input* queda de la siguiente manera (Coll y Blasco, 2006):

$$\begin{aligned} \theta^* &= \min \theta \lambda \theta \\ \text{Sujeto a } Y\lambda &\geq Y_i \\ X\lambda &\leq \theta X_i \\ N1'\lambda &= 1 \\ \lambda, s^+, s^- &\geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

La unidad evaluada será calificada como eficiente, según la definición de Pareto-Koopmans, si y solo si en la solución óptima $\theta = 1$ y las variables de holguras son todas nulas, es decir $s^+ = 0$ y $s^- = 0$ (Coll y Blasco, 2006).

A partir de la propuesta de Banker, Charnes y Cooper (1984) se pudo descomponer a la eficiencia técnica global en eficiencia técnica pura y eficiencia de escala. Para poder realizarlo se deben calcular los dos modelos CRS y VRS con los mismos datos, si existe una diferencia para las dos mediciones para una DMU en particular, entonces significa que esa DMU posee ineficiencia de escala y que el valor de ineficiencia es la diferencia entre la medición CRS y VRS (Coll y Blasco, 2006).

La eficiencia técnica global (ETG) puede ser descompuesta en Eficiencia Técnica Pura (ETP) y Eficiencia de Escala (EE) (Coll y Blasco, 2006).

Por lo tanto la $ETG = ETP * EE$

$$EE = (\theta \text{ CRS}) / (\theta \text{ VRS})$$

Donde:

CRS = Rendimientos constantes a escala

VRS = Rendimientos variables a escala

Como parte de la medición de la eficiencia es necesario elegir el camino que lleva a la frontera, es decir, la dirección al cual estará sujeto el modelo. Esta se caracteriza por tener una orientación *input* o una orientación *output*.

El modelo con orientación *input*, busca la máxima reducción proporcional en el vector de *inputs* operando dentro del conjunto de posibilidades de producción. En este caso, una unidad de producción sería ineficiente, desde el punto de vista técnico si se puede reducir cualquier *input* sin modificar la cantidad de su *output*. Mientras que un modelo con orientación *output*, busca, dado el nivel de *inputs*, el máximo incremento proporcional de los *outputs*, permaneciendo en el conjunto de posibilidades de producción. Una unidad de producción puede ser identificada como eficiente si es posible incrementar cualquier *output* sin incrementar ningún *input*.

Los rendimientos a escala, que indican los incrementos de la producción, son resultado del incremento de todos los factores de producción en el mismo porcentaje y pueden ser constantes, crecientes o decrecientes (Coll y Blasco, 2006).

- 1) Rendimientos constantes a escala: cuando el incremento porcentual del *output* es igual al incremento porcentual de los *inputs*.
- 2) Rendimientos crecientes a escala. Se dice que la tecnología exhibe este tipo de rendimientos cuando el incremento porcentual del *output* es mayor que el incremento porcentual de los *inputs*.
- 3) Rendimientos decrecientes a escala. Se presentan cuando el incremento porcentual del *output* es menor que el incremento porcentual de los *inputs*.

Para que una DMU sea considerada eficiente, las holguras deben ser iguales a 0 y la eficiencia técnica igual a 1. Un valor de holgura de salida representa el nivel adicional de *outputs* necesarios para convertir una DMU ineficiente en una DMU eficiente. Asimismo, un valor de holgura *de* entradas representa las reducciones necesarias de los correspondientes *inputs* para convertir un DMU en eficiente (Zhu, 2009).

El *bootstrap* es una herramienta estadística que fue introducida por Efron (1979) para analizar la sensibilidad de las medidas de eficiencia a una muestra de variación y la adaptación consistente del *bootstrap* a estimaciones del DEA fue formulada por primera vez por Simar y Wilson (1998).

En lo que llamamos el mundo real, el DEA mediante una muestra, estima una frontera de producción y basado en ella, obtiene las medidas de eficiencia, situándose en el interior del verdadero conjunto de posibilidades de producción, siendo diferente para cada organización. Por lo que existe un sesgo entre la función de producción estimada por el DEA y la verdadera. El *bootstrap* es la herramienta estadística que permite aproximar dicho sesgo.

De acuerdo con Simar y Wilson (2004) para poder determinar el sesgo que cada empresa puede tener, se debe generar una muestra con la que se consiga obtener una estimación del verdadero valor de la función de la frontera y restarla a la eficiencia estimada con el DEA. Al repetir este proceso de manera reiterada, se obtendrán infinitas fronteras *bootstrap* que se compararán siempre con la misma frontera verdadera. Esto dará como resultado infinitas mediciones de eficiencia *bootstrap* para cada empresa. Si el proceso generador de datos ha sido estimado con propiedad, la distribución del sesgo *bootstrap* de cada empresa debe ser similar al que se presenta en el mundo real.

En el caso de la estimación *bootstrap*, en vez de obtener una única muestra repetimos el procedimiento anterior un elevado número de veces para asegurarnos que el sesgo calculado con la muestra *bootstrap*, corresponda al del mundo real. El número de veces B que se repita el procedimiento será aquel que garantice que la aproximación es fiable. Normalmente se considera que al menos sean 1000 muestras. Simar y Wilson (2000) recomiendan remuestrear 2000 o incluso un número mayor de veces.

2.- Metodología

Se considera en una primera etapa un modelo DEA para calcular la eficiencia técnica global desagregándola en eficiencia técnica pura y eficiencia de escala con orientación con *output* es decir, se busca maximizar los productos. Para el modelo de

rendimientos variables se realiza un análisis *benchmarking* y de holguras. En una segunda etapa, se instrumenta la técnica *bootstrap* con 2000 iteraciones para cada una de las eficiencias –eficiencia técnica global, eficiencia técnica pura y eficiencia de escala–, con la finalidad de darle mayor robustez a los cálculos.

El periodo de estudio considerado fue 2008-2015. Para la selección de las DMU’s se identificaron las 13 divisiones establecidas en el área de distribución del sector eléctrico que son: Baja California, Noroeste, Norte, Golfo Norte, Golfo Centro, Bajío, Jalisco, Centro Occidente, Centro Sur, Centro Oriente, Oriente, Sureste y Peninsular (véase tabla 1). Se excluyen en este caso, las divisiones de distribución del Valle de México –Valle de México Norte, Valle de México Centro y Valle de México Sur- (CFE, 2015).

En su fase de distribución, la CFE establece para su funcionamiento operativo 13 divisiones a lo largo del país. A partir del 2010, tras la extinción de Luz y Fuerza del Centro llevado a cabo en el 2009 por decreto presidencial, la operación eléctrica se transfirió a la CFE, agregando con este evento tres divisiones más correspondientes al Valle de México (Diario Oficial de la Federación, 2010). Como el periodo de estudio es a partir del año 2008, se toman solamente las 13 regiones de la fase de distribución.

Tabla 1
DMU’s Divisiones de distribución
(sin considerar las del Valle de México)

<i>DMU</i>	<i>REGIÓN</i>	<i>ESTADOS</i>
01	Baja California	Baja California Norte, Baja California Sur
02	Noroeste	Sonora, Sinaloa
03	Norte	Coahuila, Chihuahua, Durango
04	Golfo Norte	Nuevo León, Tamaulipas
05	Golfo Centro	San Luis Potosí, Hidalgo
06	Bajío	Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro
07	Jalisco	Nayarit, Jalisco
08	Centro Occidente	Michoacán, Colima
09	Centro Sur	Morelos, Guerrero
10	Centro Oriente	Puebla, Tlaxcala, Estado de México
11	Oriente	Veracruz
12	Sureste	Tabasco, Chiapas, Oaxaca
13	Peninsular	Yucatán, Campeche, Quintana Roo

Fuente: Elaboración propia con base en Diario Oficial de la Federación, 1998 y CFE, 2015.

Para la selección de las variables se llevó a cabo una revisión de diversos trabajos vinculados con el sector eléctrico aplicando las mediciones del DEA (ver tabla 2).

Tabla 2
Cronograma de las Principales Investigaciones Internacionales del Sector Eléctrico utilizando Mediciones del DEA

<i>Año</i>	<i>Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>	<i>Fuente</i>
1998.	Goto y Tsutsui	Comparison of Productive and Cost Efficiencies Among Japanese and US Electric Utilities	-Capacidad de generación -Combustible utilizado -Número de empleados -Energía adquirida	-Ventas a residenciales -Ventas a clientes no residenciales	GRIPS Policy
2003	Edvardsen y Forsund	International Benchmarking of Electricity Distribution Utilities	-Operativos totales y costos de mantenimiento de pérdidas -Valor de reposición	-Número total de líneas de suministro -Número de clientes	Resource and Energy Economics
2005	Delmas y Tokat	Deregulation Process, Governance Structures and Efficiency: The U.S. Electric Utility Sector	-Costo laboral -Valor de las plantas -Gastos de producción -Gastos transmisión -Gastos de distribución -Gastos de ventas -Gastos administrativos -Gastos generales -Electricidad comprada de otras fuentes	-Ventas totales de bajo voltaje (residenciales y comerciales) -Ventas de alta tensión (industriales y de intercambio)	Stanford
2005	Navarro	La Eficiencia del Sector Eléctrico en México	Líneas de distribución Capacidad de las subestaciones Capacidad de los transformadores Fuerza de trabajo	Número de usuarios Ventas de energía eléctrica	UMSNH
2006	Pombo y Taborda	Performance and Efficiency in Colombia's Power Distribution System: Effects of the 1994 Reform	-Número de empleados en la distribución de energía -Comercialización -Número de transformadores -Número subestaciones -Líneas de alta tensión -PIB per cápita regional -Capacidad nacional instalada en la generación de electricidad	-Ventas totales -Clientes totales	Energy Economics
2006.	Cadena A. <i>et al.</i>	Efficiency Analysis in Electricity Transmission Utilities	-Cantidad de material conductor eléctrico -Pérdidas de energía eléctrica -Nivel de Voltaje -Gastos de Operación -Cantidad de material conductor eléctrico -Activos no eléctricos	-Capacidad de potencia -Calidad del servicio de energía eléctrica	AIMS' Journals

Continúa...

Año	Autor	Título	Inputs	Outputs	Fuente
2006.	Abbott M.	The Productivity and Efficiency of the Australian	-Capital social -Energía utilizada -Mano de obra empleada	-Electricidad consumida	Energy Economics
2007	Wang <i>et al.</i>	Performance Based Regulation of the Electricity Supply industry in Hong Kong: An Empirical Efficiency Analysis Approach	-Gastos de capital de trabajo	-Total de las ventas de electricidad suministrada -Número total de clientes	Energy Policy
2007	Pereira <i>et al.</i>	Integrating the Regulatory and Utility Firm Perspectives, when Measuring the Efficiency of Electricity Distribution	-Costo operacional -Número de empleados -Pérdidas -Interrupción promedio del sistema -Índice de duración -Tamaño de la red	-Número de consumidores -Energía entregada -Área de servicio	European Journal of Operational Research
2007	Tsutsui y Tone	Application of Network DEA Model to Vertically Integrated Electric Utilities	Generación (Inputs) -Capacidad nominal -Número de empleados -Consumo de combustible <i>Input intermedio</i> -Energía eléctrica generada Transmisión (Inputs) -Longitud de línea -Energía adquirida -Número de empleados <i>Input intermedio</i> -Energía eléctrica transmitida a pequeños clientes -Energía eléctrica distribuida a grandes clientes Distribución (Inputs) -Capacidad de transformación -Número de empleados <i>Input intermedio</i> -Energía eléctrica distribuida a grandes clientes -Energía eléctrica distribuida a los pequeños clientes Ventas (Inputs) -Número de empleados	Generación: -Energía eléctrica generada Transmisión: -Energía eléctrica transmitida a grandes clientes. -Energía eléctrica transmitida a pequeños clientes Distribución: -Energía eléctrica distribuida a grandes clientes -Energía eléctrica distribuida a pequeños clientes Ventas: -Ventas totales de energía	GRIPS Policy
2008	Vaninsky A.	Environmental Efficiency of Electric Power Industry of the United States: A Data Envelopment Analysis Approach	-Tasa de emisiones de CO2 -Pérdidas de energía eléctrica	-Utilización de combustibles fósiles.	International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering
2009	Azadeh, Ghaderi y Omrani	An Integrated DEA-COLS-SFA Algorithm for Optimization and Policy Making of Electricity Distribution Units	-Longitud de la red (km) -Capacidad de los transformadores -Número de empleados	-Número de clientes -Venta total de electricidad	Energy policy

Continúa...

<i>Año</i>	<i>Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>	<i>Fuente</i>
2008	Torres y Vásquez	Estudio de Sensibilidad de la Eficiencia de la Calidad Percibida del Servicio en Empresas del Sector Eléctrico Usando DEA	Suministro de energía, información y comunicación con el cliente, factura de energía, atención al cliente e imagen.	Calidad percibida de servicio	Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela
2010	Kumar, Padh y Gupta	A Micro Level Study of an Indian Electric Utility for Efficiency Enhancement	-Costo de Operación y Mantenimiento -Número de empleados -Duración media de la interrupción -Distribución de la longitud de línea -Capacidad de transformación	-Energía vendida -Número de clientes	Energy
2011	Kumar y Gupta	Performance Evaluation and Improvement Directions for an Indian Electric Utility	-Número de empleados	-Energía vendida -Número de clientes -Tiempo de interrupción	Energy Policy
2014	Li, Li y Zheng	Unified Efficiency Measurement of Electric Power Supply Companies in China	-Longitud de la red por encima de 35 kV -Capacidad transformadores por encima de 35 kV -Número de empleados -Costo de la actividad principal	-Cantidad de suministro de energía eléctrica -Fiabilidad del suministro de energía -Calidad de la tensión -Falta de red	Sustainability
2014	Bagheri O.	Measuring the Efficiency of Electricity Distribution Companies in Iran Data Envelopment Analysis (DEA) Approach.	-El número de personal especializado en la empresa - La longitud de las líneas de baja tensión en la empresa -La capacidad de transferencia en la empresa	-La producción de electricidad en la empresa (ventas)	Indian Journal of Applied Research
2015	Dogan y Tugcu	Energy efficiency in electricity production: a Data Envelopment Analysis (DEA) approach for the G-20 countries	Fuentes de carbón, fuentes hidroeléctricas, fuentes de gas natural, fuentes de petróleo, y fuentes de energía renovables (RS).	Electricidad generada	International Journal of Energy Economics and Policy
2016	Meher y Sahu (2016)	Efficiency of electricity distribution utilities in India: a Data Envelopment Analysis	Líneas de distribución, longitud de red.	Energía vendida	Opec Energy Review
2018	Sudhir y Makoto	Efficiency evaluation of electricity distribution utilities in India: A two-stage DEA with bootstrap estimation	Número de empleados, longitud de la línea de distribución (en kilómetros del circuito) y capacidad del transformador	Número de clientes y electricidad total entregada.	Journal of the Operational Research Society

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión de la literatura.

Después de haber realizado la revisión de literatura se identificaron los siguientes *inputs*: capacidad de planta, unidades generadoras de electricidad, líneas de transmisión, líneas de distribución, número de subestaciones y capacidad de

transformación. En el caso de los *outputs* fueron: energía eléctrica generada, energía eléctrica transmitida y energía eléctrica distribuida. A estas variables se les aplicó el estadístico de Correlación de Pearson como se muestra en la tabla 3, para ver el grado de asociación entre las variables, y de esta manera poder determinar cuáles son las que se ajustan mejor al modelo que se trabaja en la presente investigación, buscando que exista una mayor relación entre *input-output*.

Al aplicar este estadístico los valores obtenidos oscilan entre +1 y -1. Mientras más cerca de 1 mayor es la correlación, y es menor mientras más cerca se encuentre de cero. Una vez calculado el coeficiente de correlación, es importante ver que las variables X e Y estén relacionadas en realidad. Por lo que se aplica la prueba t- de student con N-2 grados de libertad donde se contrastan las siguientes hipótesis:

Ho = El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuya correlación es cero ($\rho = 0$).

H₁ = El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuyo coeficiente de correlación es distinto de cero ($\rho \neq 0$).

Si el valor p value > 0.05, se acepta la hipótesis nula, lo que indica que las variables no están relacionadas. Por el contrario si p value < 0.05, se rechaza la hipótesis nula y nos indica que las variables si están relacionadas.

Tabla 3
Correlación de Pearson

	<i>Input CP</i>	<i>Input UG</i>	<i>Input LT</i>	<i>Input LD</i>	<i>Input SB</i>	<i>Input CT</i>	<i>Output EG</i>	<i>Output ET</i>	<i>Output ED</i>
Input CP	1	0.186	0.524	0.285	-0.270	.564*	.948**	0.442	0.434**
Input UG	0.186	1	0.137	-0.209	-0.045	-0.359	0.238	-0.062	-0.040
Input LT	0.524	0.137	1	.665*	0.304	.763**	.557*	0.316	0.456*
Input LD	0.285	-0.209	.665*	1	.556*	0.534	0.165	0.166	0.096
Input SB	-0.270	-0.045	0.304	.556*	1	0.451	.561*	.833**	.796**
Input CT	.564*	-0.359	.763**	0.534	0.451	1	-0.214	0.443	0.374
Output EG	.948**	0.238	.557*	0.165	.561*	-0.214	1	0.487	0.449
Output ET	0.442	-0.062	0.316	0.166	.833**	0.443	0.487	1	.967**
Output ED	0.434**	-0.040	0.456*	0.096	.796**	0.374	0.449	.967**	1

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05

**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados con el software SPSS.

Donde:

Capacidad de la Planta (MW)	= CP
Unidades Generadoras de Electricidad (#)	= UG
Líneas de Transmisión (Km)	= LT
Líneas de Distribución (Km)	= LD
Número de Subestaciones (#)	= SB
Capacidad de Transformación (MVA)	= CT
Energía Eléctrica Generada (MWh)	= EG
Energía Eléctrica Transmitida (MWh)	= ET
Energía Eléctrica Distribuida (MWh)	= ED

En la tabla 3, se puede observar que los *inputs* capacidad de planta, líneas de transmisión y subestaciones están relacionadas con los *outputs* energía eléctrica generada y energía eléctrica distribuida, obteniendo valores significativos. Por el contrario en el caso de los *inputs* unidades generadoras de electricidad y líneas de distribución los valores obtenidos no fueron significativos, además de que líneas de distribución está muy relacionada con los otros *inputs* y esto sesga los resultados, por lo que ambas variables se eliminaron del modelo. En el caso de los *outputs* se seleccionaron energía eléctrica generada y energía eléctrica distribuida por ser las más representativas en el modelo. En el caso del *output* energía transmitida, se eliminó por dos razones: la primera, porque solo fue significativa para el *input* subestaciones y la segunda, porque se encuentre muy relacionada con el otro *output* energía distribuida. Por lo tanto, se seleccionó el *output* - Energía Eléctrica Distribuida- que fue más representativo para los *inputs* seleccionados. Finalmente, el modelo quedó con los siguientes *inputs* y *outputs*:

Inputs:

- Capacidad de la planta.
- Líneas de transmisión.
- Número de subestaciones.

Outputs:

- Energía eléctrica generada.
- Energía eléctrica distribuida.

La información utilizada para los *outputs* energía eléctrica generada y energía eléctrica distribuida, fue obtenida de las bases de datos proporcionados de la Secretaria de Energía (SENER) de los años 2008 al 2015 y por CFE a través de sus respectivos portales (CFE-Estadísticas, SIAD y SIE).

Para los *inputs* capacidad de planta y líneas de transmisión la información se obtuvo del sistema de información energética (SIE). En el caso, del input número de subestaciones, la información se obtuvo del portal ejecutivo del sistema integral de administración en distribución (SIAD).

3.- Resultados

En este apartado, se tienen las mediciones de la eficiencia técnica global (ETG), desagregada a su vez, en eficiencia técnica pura (ETP) y en eficiencia de escala (EE), con la aplicación del estadístico *bootstrap* y además se consideró el análisis *benchmarking* y el análisis de holguras en el sector eléctrico nacional durante el periodo 2008-2015.

Aún y cuando varias regiones obtuvieron valores cercanos a la eficiencia, es la región Golfo Norte -estados de Nuevo León y Tamaulipas-, la única que fue eficiente en una de las eficiencias estudiadas, es decir, obtuvo el valor de la unidad en la eficiencia de escala (ver tabla 4).

Tabla 4
Eficiencia Técnica Global, Técnica Pura y de Escala
con Bootstrap, 2008-2015

<i>DMU</i>	<i>ETG</i>	<i>ETP</i>	<i>EE</i>	<i>promedio</i>
Baja California	0.889	0.924	0.962	0.925
Noroeste	0.717	0.738	0.972	0.809
Norte	0.911	0.946	0.963	0.940
Golfo Norte	0.859	0.859	1.000	0.906
Golfo Centro	0.821	0.905	0.907	0.878
Bajío	0.888	0.892	0.995	0.925
Jalisco	0.867	0.914	0.949	0.910
Centro Occidente	0.699	0.793	0.882	0.791
Centro Sur	0.700	0.757	0.925	0.794
Centro Oriente	0.770	0.878	0.877	0.842
Oriente	0.911	0.912	0.999	0.941

Continúa...

<i>DMU</i>	<i>ETG</i>	<i>ETP</i>	<i>EE</i>	<i>promedio</i>
Sureste	0.484	0.5	0.967	0.650
Peninsular	0.644	0.768	0.838	0.750
Promedio	0.782	0.83	0.941	0.851

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados con la metodología DEA.

Si bien existen DMU's que presentan valores cercanos a la unidad en la eficiencia técnica global y en la eficiencia técnica pura, ninguna alcanza la eficiencia en estos dos indicadores (véase tabla 4).

En promedio durante el periodo 2008-2015, la región Oriente –estado de Veracruz- y la región Norte –estados de Sonora y Sinaloa- fueron las que tuvieron mejores niveles de eficiencia con valores cercanos a la unidad. En contraste, la división Sureste constituida por los estados de Tabasco, Chiapas y Oaxaca, fue la que tuvo en promedio el valor más bajo en sus niveles de eficiencia (ver tabla 4).

En lo que se refiere al promedio que obtuvieron las tres eficiencias durante el período de estudio es la eficiencia de escala la que alcanzó el valor más alto (0.941); esto es, la utilización de los recursos se situó cerca del óptimo. Mientras que, es la eficiencia global la que se encuentra con el menor valor (0.782), explicado en gran medida por la eficiencia técnica pura.

En el análisis *benchmarking* del modelo DEA con rendimientos variables, se identifican las DMUS que son consideradas como referencia, por tener características similares para las DMUS que no alcanzaron el nivel óptimo. Cada unidad referente indicará la intensidad de influencia (los coeficientes que aparecen entre paréntesis) que tiene sobre las unidades ineficientes (Coll y Blasco, 2006). En la tabla 5, se observa que en el año 2015, la región que se tomó como referencia un mayor número de veces fue la región Centro Oriente (R10) –estados de Puebla, Tlaxcala y el Estado de México-. Esta división fue referente de mejora para las regiones Noroeste (14.8%), Golfo Centro (58.7%), Jalisco (32.7%), Centro Occidente (71%), Centro Sur (45.6%), y la Sureste (0.02%)

Tabla 5
Análisis Benchmarking, 2015

<i>DMU</i>	<i>Benchmarking</i>
R01 Baja California	R01(1.000000)
R02 Noroeste	R01(0.183884); R04(0.320518); R06(0.346803); R10(0.148795)

Continúa...

	<i>DMU</i>	<i>Benchmarking</i>
R03	Norte	R03(1.000000)
R04	Golfo Norte	R04(1.000000)
R05	Golfo Centro	R03(0.244202); R04(0.065040); R10(0.586788); R11(0.103970)
R06	Bajío	R06(1.000000)
R07	Jalisco	R01(0.485063); R04(0.026283); R06(0.161368); R10(0.327286)
R08	Centro Occidente	R04(0.266618); R06(0.023530); R10(0.709853)
R09	Centro Sur	R03(0.099222); R10(0.455694); R11(0.445084)
R10	Centro Oriente	R10(1.000000)
R11	Oriente	R11(1.000000)
R12	Sureste	R01(0.278993); R03(0.390015); R04(0.330727); R10(0.000265)
R13	Peninsular	R13(1.000000)

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados con la metodología DEA.

Por lo que respecta al análisis de holguras, este permite identificar donde se puede realizar la reducción en algún *input* o incremento en algún *output*. Se instrumentó este análisis para el modelo DEA con rendimientos variables para el año 2015, y los resultados obtenidos, indican que las regiones que no aprovecharon su infraestructura en cuanto a líneas de transmisión fueron las regiones Noroeste con 1,057.94 kilómetros, Centro Occidente con 608.72 kilómetros, Centro Sur 279.40 kilómetros y la Sureste con 412.64 kilómetros. En cuanto a la energía eléctrica generada, se tiene que, con la misma capacidad de planta existente, la región Jalisco podría haber obtenido 7, 688,650.74 MWh más de lo que realmente generó. Finalmente, en el caso de la energía distribuida, las regiones Golfo Centro, Centro Occidente y Centro Sur pudieron haber distribuido de manera adicional 1, 162,631.48 MWh., 5,603,279.22 MWh y 2,222,727.79 MWh, respectivamente (ver tabla 6).

Tabla 6
Análisis de holguras, 2015.

<i>DMU</i>	<i>(CapPlanta)</i>	<i>(LinTrans)</i>	<i>(Subestaciones)</i>	<i>(EGenerada)</i>	<i>(EDistribuida)</i>
Baja California	0	0	0	0	0
Noroeste	0	-1057.937642	0	0	0

Continúa...

Norte	0	0	0	0	0
Golfo Norte	0	0	0	0	0
Golfo Centro	0	0	0	0	1162631.482
Bajío	0	0	0	0	0
Jalisco	0	0	0	7688650.737	0
Centro Occidente	0	-608.721092	0	0	5603279.225
Centro Sur	0	-279.397017	0	0	2222727.794
Centro Oriente	0	0	0	0	0
Oriente	0	0	0	0	0
Sureste	0	-412.644708	0	0	0
Peninsular	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados con la metodología DEA.

4.- Discusión de Resultados

El sector eléctrico ha sido analizado por diversos autores debido a la importancia que representa para un país que se trabaje de manera eficiente en esta área. Por consiguiente, la utilización de la metodología de la envolvente de datos para calcular la eficiencia técnica en este sector ha sido cada vez más utilizado, como es el caso de Li, Li y Zheng (2014), Bagheri (2014), Dogan y Tugcu (2015), Meher y Sahu (2016), y Sudhir y Makoto (2018), principalmente.

Li, Li y Zheng (2014), calcularon la eficiencia de 24 empresas proveedoras de electricidad de China utilizando el modelo DEA, aplicando también un modelo de super eficiencia. El trabajo que aquí se presenta, difiere de estos autores en varios puntos: a) ellos trabajaron con rendimientos constantes a escala, mientras que en esta investigación se trabaja eficiencia técnica global, desagregado en eficiencia técnica pura y en eficiencia de escala además que se aplica el estadístico *bootstrap*; b) se considera un análisis *benchmarking* y de holguras.

Bagheri (2014), calcula la eficiencia técnica del sistema de transmisión de electricidad en Irán, utilizan un modelo DEA con rendimientos constantes y con orientación *input*. Los resultados revelaron que en general hay una baja eficiencia en este sistema, requiriendo mayor uso de tecnología. La investigación objeto de este estudio, difiere en que además de calcular la eficiencia técnica con rendimientos constantes, también se calcula la eficiencia con rendimientos variables y la eficiencia de escala y como se mencionó en el párrafo anterior, aplicando además el estadístico *bootstrap* y realizando análisis *benchmarking* y de holguras.

Por su parte Dogan y Tugcu (2015), calculan la eficiencia técnica con rendimientos constantes y con orientación input de los países que integran el G-20 para los años 1990, 1995, 2000, 2005 y 2011. Los resultados revelaron que China y Rusia aparecen en la cima de las clasificaciones de eficiencia energética. Por otro lado, Francia resultó ser ineficiente en la mayoría de los años. La investigación objeto de este estudio, difiere en que además de calcular la eficiencia técnica con rendimientos constantes, también se calcula la eficiencia con rendimientos variables y la eficiencia de escala.

Meher y Sahu (2016) realizan un estudio donde miden la eficiencia técnica de los servicios públicos de distribución de electricidad de 17 estados en la India, utilizando la metodología del análisis de la envolvente de datos. Estos autores consideran un modelo con rendimientos constantes con orientación *input* para los años 2012 y 2013. Los resultados muestran la existencia de ineficiencia en la mayoría de los DMUs analizados. La principal diferencia con el estudio de estos autores es que ellos calculan la eficiencia técnica con rendimientos constantes con orientación *input*, mientras que en este trabajo se calcula la eficiencia técnica global, la eficiencia técnica pura y la eficiencia de escala con orientación *output*.

Sudhir y Makoto (2018), realizaron un análisis de la eficiencia del servicio de distribución de electricidad en la India con datos de panel de 2005 a 2012. Instrumentan la metodología DEA con rendimientos constantes incorporando variables ambientales y utilizando el estadístico *bootstrap*. Ellos obtienen como resultado que los servicios públicos son menos eficientes que las empresas privadas. En tanto que aquí, el sector eléctrico es público. Se tiene sin embargo como similitud el que en ambos estudios se implementa el estadístico *bootstrap*.

En resumen, se puede decir que dentro de los principales aportes de este estudio se encuentra el que, además de desagregar la eficiencia técnica global en eficiencia técnica pura y eficiencia de escala, se aplica la técnica *bootstrap*, lo que da mayor robustez a los resultados obtenidos y además, se trabajan los análisis *benchmarking* y *slacks*.

Conclusiones

En este trabajo se determinaron los niveles de eficiencia técnica global, eficiencia técnica pura y eficiencia de escala aplicando la técnica de *bootstrap* en el sector eléctrico nacional durante el periodo 2008-2015, instrumentando la metodología del análisis de la envolvente de datos. Se realiza además, el análisis *benchmarking* y *slacks*.

Para el cálculo de la eficiencia DEA, se desarrolló un modelo de rendimientos constantes y variables a escala con orientación *output*. Las DMU's utilizadas

fueron las 13 regiones que establece la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la parte operativa de distribución a nivel nacional. Se consideraron como *inputs*, la capacidad de planta, las líneas de transmisión y el número de subestaciones y como *outputs*, la energía generada y la energía distribuida.

Si bien varias de las regiones obtuvieron valores cercanos a la eficiencia, es solo la región Golfo Norte -estados de Nuevo León y Tamaulipas-, la única que fue eficiente en una de las eficiencias estudiadas, es decir, obtuvo el valor de la unidad en la eficiencia de escala.

En promedio durante el periodo 2008-2015, la región Oriente -estado de Veracruz- y la región Norte -estados de Sonora y Sinaloa- fueron las que tuvieron mejores niveles de eficiencia con valores cercanos a la unidad. En contraste, la división Sureste constituida por los estados de Tabasco, Chiapas y Oaxaca, fue la que tuvo en promedio el valor más bajo en sus niveles de eficiencia.

De las tres eficiencias -eficiencia técnica global, eficiencia técnica pura y eficiencia de escala- en promedio durante el período de estudio, es la eficiencia de escala la que tuvo el valor más alto mientras que es la eficiencia global la que se encuentra con el menor valor.

En el análisis *benchmarking* en el 2015, la región que se tomó como referencia un mayor número de veces fue la región Centro Oriente -estados de Puebla, Tlaxcala y el Estado de México-. Esta región fue referente de mejora para las regiones Noroeste, Golfo Centro, Jalisco, Centro Occidente, Centro Sur y la Sureste.

El objetivo del trabajo que fue el de determinar la eficiencia técnica global, la eficiencia técnica pura y la eficiencia de escala fue cubierto. Asimismo, la hipótesis que se planteó en esta investigación se cumple, al concluirse que es la eficiencia de escala quien determinó la eficiencia técnica global del sector eléctrico nacional durante el periodo 2008-2015.

Finalmente, si bien se ha tenido la capacidad de abastecer la demanda de energía eléctrica, alcanzando una cobertura del 98.44% de la población del país (SENER, 2016), es importante continuar con estudios de esta índole, que coadyuven en la formulación de políticas orientadas a la mejora de la eficiencia del sector.

Referencias

Abbott, M. and Doucouliagos, C. (2006). "The efficiency of Australian universities: a Data Envelopment Analysis". *Economics of Education Review*, 22 (2003), 89-97. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0272-7757\(01\)00068-1](https://doi.org/10.1016/S0272-7757(01)00068-1)

- Azadeh, A., Ghaderi, S., & Omrani, H. (2009). "An integrated DEA–COLS–SFA Algorithm for Optimization and Policy Making of Electricity Distribution Units". *Energy Policy*, 37(7), 2605-2618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.021>
- Bagheri, O. (2014). "Measuring the Efficiency of Electricity Distribution Companies in Iran Data Envelopment Analysis (DEA) Approach". *Indian Journal of Applied Research*, 45-51.
- Banker, R., Charnes, A., & Cooper, W. (1984). "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science*. 30(9), 1078-1093. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Bazán, C. E. (2011). "Ensayos Sobre la Reforma del Sector Eléctrico: Tecnología y Competencia". *Tesis Doctoral*. Las Palmas de Gran Canaria, España.
- Cadena, A., Marcucci, J., Perez, H., Durán, H., Tautiva, C., & Palacios, F. (2009). "Efficiency Analysis in Electricity Transmission Utilities". *American Institute of Mathematical Sciences Journal*, 5(2), 253-274. DOI: <https://doi=10.1.1.364.9973&rep=rep1&type=pdf>
- Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes. (1978). "Measuring the Efficiency of Decision Making Units". *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Coll, V., & Blasco, O. (2006). *Evaluación de la Eficiencia Mediante el Análisis Envoltante de Datos: Introducción a los Modelos Básicos*. Valencia: Universidad de Valencia-Eumed. Obtenido de EUMED.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2012). *Informe Anual 2012*. Obtenido de http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Lists/Publicaciones%20Informes%20Anuales/Attachments/10/Informe2012CFE.pdf?Mobile=1
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2015). *Programa de Ampliación y Modernización de las Redes Generales de Distribución 2015 – 2019*. Obtenido de <http://docplayer.es/8203575-Programa-de-ampliacion-y-modernizacion-de-las-redes-generales-de-distribucion-2015-2019.html>
- Cooper, W., Seiford, L. y Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and its uses*. New York: Springer-Verlag.
- Debreu, G. (1951). "The coefficient of resource utilization". *Econometrica*, 19, (3), 273-292. DOI: 10.2307/1906814
- Delmas, M., & Tokat, Y. (2005). "Deregulation, Governance Structures and Efficiency: The U.S. Electric Utility Sector". *Strategic Management Journal*, 26, 441-460. DOI: <https://doi.org/10.1002/smj.456>
- Diario Oficial de la Federación (1975). DECLARATORIA por parte de la Secretaría de Gobernación donde se adiciona el párrafo sexto y un séptimo párrafo al artículo 27 y se adiciona la fracción X del artículo 73 de la Constitución Política de los

- Estados Unidos Mexicanos. Publicado el 6 de febrero de 1975. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4748638&fecha=06/02/1975
- Diario Oficial de la Federación (1998). RESOLUCION por la que se aprueban las especificaciones técnicas a que se refiere la fracción V del artículo 3o. del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en Materia de Aportaciones. Publicado el 23 de diciembre de 1998. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4904508&fecha=23/12/1998
- Diario Oficial de la Federación (2010). REFORMAS al Estatuto Orgánico de la Comisión Federal de Electricidad. Publicado el 9 de diciembre de 2010. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5170423&fecha=09/12/2010
- Dogan, N., & Tugcu, C. (2015). "Energy Efficiency in Electricity Production: a data Envelopment Analysis (DEA) Approach for the g-20 Countries". *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5, 246-252.
- Edvardsen, F., & Forsund, R. (2003). "International Benchmarking of Electricity Distribution Utilities". *Resource and Energy Economics*, 25(4), 353-371. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0928-7655\(03\)00045-9](https://doi.org/10.1016/S0928-7655(03)00045-9)
- Efron, B. (1979). "Bootstrap methods: Another look at jackknife". *Ann Statist*, 7 (1), 1-26.
- Farrell, M. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency". *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), 253-267. DOI: 10.2307/2343100
- Goto, M., & Tsutsui, M. (1998). "Comparison of productive and cost efficiencies among Japanese and US electric utilities". *Omega*, 26, 177-194. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(97\)00073-X](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(97)00073-X)
- Koopmans, T. (1951). "Efficient Allocation of Resources". *Econometrica*, 19(4), 455-465. DOI: 10.2307/1907467
- Kumar, V., Padhy, N., & Gupta, H. (2010). "A Micro Level Study of an Indian Electric Utility for Efficiency Enhancement". *Energy*, 35(10), 4053-4063. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.06.011>
- Kumar, V., Padhy, N., & Gupta, H. (2011). "Performance Evaluation and Improvement Directions for an Indian Electric Utility". *Energy Policy*, 39(11), 7112-7120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.028>
- Li, J., Li, J., & Zheng, F. (2014). "Unified Efficiency Measurement of Electric Power Supply Companies in China". *Sustainability Journal*, 6(2), 779-793. DOI:10.3390/su6020779
- Meher, S. y Sahu, A. (2016). "Efficiency of electricity distribution utilities in India: a data envelopment analysis". *Opec Energy Review*, 40 (2), 155-179. DOI: <https://doi.org/10.1111/opec.12072>

- Molina, A. (2017). “Estructura de la industria eléctrica mexicana: El Modelo de Comprador Único”. *Economía, Teoría y Práctica* (46), 71-95. DOI: doi.org/10.24275/etypuam/ne/462017/molina
- Navarro, J. (2005). *La Eficiencia del Sector Eléctrico en México*. (2a., Ed.) Morelia, México: UMSNH.
- Pereira, M., Vervloet, M., Marques, G., & Moreirad, A. (2007). “Integrating the Regulatory and Utility Firm Perspectives, when Measuring the Efficiency of Electricity Distribution”. *European Journal of Operational Research*, 181(3), 1413-1424. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.10.072
- Pombo, C., & Taborda, R. (2006). “Performance and Efficiency in Colombia’s Power Distribution System: Effects of the 1994 Reform”. *Energy Economics, Elsevier*, 28(3), 339-369. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.08.001
- Raffo, E. y Ruíz, E. (2005). “Modelo de optimización en la ruta de entrega”. *Industrial Data*, 8 (1), 75-83
- Secretaría de Energía (SENER). (2013). Prospectiva del sector eléctrico 2013-2027. Obtenido de http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2013-2027.pdf
- Secretaría de Energía (SENER) (2016). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98308/PRODESEN-2016-2030_1.pdf
- Simar, L., y Wilson, P. (1998). “Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models”. *Management science*, 44 (1), 49-61.
- Simar, L. y Wilson, P. (2000). “Statistical inference in nonparametric frontier models: The state of the art”. *Journal of Productivity Analysis*, 13(1), 49-78.
- Simar, L., y Wilson, W. (2004). “Performance of the Bootstrap for Dea Estimators and Iterating the Principle”. Ed. by Cooper W.W., Seiford M.L., Zhu J. *Handbook on Data Envelopment Analysis*, 265-298 Kluwer Academic Publishers.
- Sudhir M. Bobde & Makoto Tanaka (2018). “Efficiency evaluation of electricity distribution utilities in India: A two-stage DEA with bootstrap estimation”. *Journal of the Operational Research Society*, DOI: 10.1080/01605682.2017.1398202
- Trelles, F. (2016). *La Historia de la Electricidad en México, una Asignatura Pendiente*. Obtenido de <http://www.luz2015.unam.mx/leer/120/la-historia-de-la-electricidad-en-mexico-una-asignatura-pendiente>
- Tsutsui, M., & Tone, K. (2007). “Application of Network DEA Model to Vertically Integrated Electric Utilities”. *Policy Information Center, GRIPS*.
- Torres, M. y Vasquez, C. (2008). *Estudio de Sensibilidad de la Eficiencia de la Calidad Percibida del Servicio en Empresas del Sector Eléctrico Usando DEA*. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Disponible en <https://www>

researchgate.net/publication/271216771_Estudio_de_Sensibilidad_de_la_Eficiencia_de_la_Calidad_Percibida_del_Servicio_en_Empresas_del_Sector_Electrico_Usando_DEA

Vaninsky , Y. (2008). “Environmental Efficiency of Electric Power Industry of the United States: A Data Envelopment Analysis Approach”. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 2(4), 509-515.

Wang , J., Ngan, H., Engriwan , W., & Lo, K. (2007). “Performance Based Regulation of the Electricity Supply Industry in Hong Kong: An Empirical Efficiency Analysis Approach”. *Energy Policy Volume*, 35, 609-615. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.01.011>

Zhu, J. (2009). *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking, Data Envelopment Analysis with Spreadsheets*. (2a, Ed.) New York, USA: SPRINGER.