



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**NOMBRE DE LA TESIS**

**METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO EN LOS SISTEMAS  
MUNICIPALES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE MÉXICO A TRAVÉS  
DEL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA**

**INGENIERÍA DE SISTEMAS - PLANEACIÓN**

**P R E S E N T A :**

**ING. MARISOL HERNÁNDEZ RANGEL**

**TUTOR:**

**DR. JAVIER SUÁREZ ROCHA**



2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## *Jurado Asignado*



- Presidente:** Dr. José de Jesus Acosta Flores
- Secretario:** Dr. Dartois Girald Laurent Yves Georges
- Vocal:** Dr. Javier Suárez Rocha
- 1<sup>er</sup>. Suplente:** M. I. José Antonio Rivera Colmenero
- 2<sup>do</sup>. Suplente:** M. I Francisco José Álvarez y Caso

**Lugar o lugares donde se realizó la tesis:**

*Universidad Nacional Autónoma de México.  
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria.  
Edificio Bernardo Quintana Arrijoja.  
México, D.F.*

**TUTOR DE TESIS:**

DR. JAVIER SUÁREZ ROCHA  
**FIRMA**

# Agradecimientos



*Agradezco infinitamente a mis padres Joaquín y Elena por hacer de mí una mujer fuerte con la capacidad de realizar mis sueños.*

*Un agradecimiento especial a Óscar Olvera Neria, por ser la persona que ha compartido su amor y felicidad a mi lado, porque en su compañía las cosas malas se convierten en buenas, la tristeza se transforma en alegría y la soledad no existe.*

*A mis queridos hermanos por estar conmigo cuando más los necesito y por aconsejarme a seguir adelante sin importar los obstáculos.*

*Al Dr. Laurent Yves Georges Dartois Girard por su colaboración, paciencia, apoyo brindado y amistad.*

*Al Dr. Javier Suárez Rocha por permitirme trabajar a su lado.*

*Y finalmente, agradezco a CONACYT e ICYTDF el apoyo financiero que me dieron para cursar la maestría y de esta manera terminar una etapa más de mi formación académica.*

## *Objetivo General*



Medir el desempeño en los sistemas municipales de distribución de agua potable en México a través del Análisis Envolvente de Datos.

## *Objetivos Específicos*



1. Analizar los factores que determinan la productividad en los sistemas municipales de distribución de agua potable en México.
2. Aplicar técnicas no paramétricas para la medición del desempeño en los sistemas municipales de distribución de agua potable en México.
3. Establecer indicadores cuantitativos para medir el desempeño en los organismos operadores de agua potable en México que sean de utilidad en la toma de decisiones.

## *Hipótesis*



1. El desempeño de los sistemas municipales de distribución de agua potable en México puede calcularse mediante técnicas no paramétricas.
2. El cálculo de la productividad y la creación de indicadores cuantitativos en los organismos operadores de agua potable del país, ayudará a la toma de decisiones.

# Índice



<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. Antecedentes y conceptos básicos</b> .....	<b>4</b>
1.1 Importancia de determinar la eficiencia y productividad en la administración municipal.....	4
1.2 Concepto y clasificación de las medidas de eficiencia .....	7
1.3 Técnicas de estimación de la eficiencia .....	11
1.4 Diferencia entre eficiencia técnica y productividad .....	13
1.5 Estudios de la medición de la productividad y eficiencia en los servicios públicos a nivel internacional .....	15
1.6 Medición del desempeño en México .....	20
<b>CAPÍTULO 2. Estimación de la frontera de eficiencia mediante el Análisis Envolvente de Datos</b> .....	<b>23</b>
2.1 Análisis Envolvente de Datos (DEA) .....	23
2.2 Caracterización de los modelos DEA .....	24
2.2.1. Orientación del Modelo.....	24
2.2.2 Tipología de los rendimientos a escala.....	26
2.3 Ventajas y desventajas del Análisis DEA .....	26
2.4 Modelos básicos del Análisis Envolvente de Datos .....	27
2.4.1 Modelo DEA CCR .....	28
2.4.2 Modelo DEA BCC.....	33
2.5 Índice de Productividad de Malmquist.....	34
<b>CAPÍTULO 3. Medición de la productividad en los sistemas municipales de distribución de agua potable</b> .....	<b>36</b>
3.1 Metodología empleada.....	36
3.2 Determinación de la Productividad Total de los Factores .....	50
<b>CAPÍTULO 4. Conclusiones</b> .....	<b>64</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>66</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>72</b>

## *Introducción*

La cuantificación del desempeño en la administración pública constituye un nuevo escenario para el control de la eficiencia gubernamental. Como resultado se origina la transparencia necesaria del sector público, así como la necesidad de contar con información que permita tomar decisiones para optimizar los recursos disponibles.

La cercanía de las autoridades locales con la ciudadanía tiene un impacto significativo en el bienestar social y genera procesos de control que garantizan el adecuado funcionamiento de los organismos gubernamentales.

Por otra parte, la evaluación de la actividad municipal adquiere especial relevancia en los servicios que por su naturaleza comercial pueden ser desarrollados por medio de un dominio indirecto (empresas del sector privado) o también por la descentralización pública (creación de empresas mercantiles con participación del municipio). Esta situación provoca una separación entre la responsabilidad administrativa y política, creando la necesidad de verificar el desempeño de los organismos públicos con la finalidad de evitar la pérdida de control por parte de las autoridades municipales.

El presente trabajo desarrolla una metodología para cuantificar la eficiencia en los sistemas municipales de suministro de agua potable en México, empleando el Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés). El estudio es pertinente debido a la importancia que tiene el agua como recurso natural y por su incidencia en la calidad de vida de la población.

La estimación de la eficiencia técnica en los servicios de suministro de agua potable, tiene como propósito detectar ahorros potenciales de los recursos empleados, lo que incidirá en el incremento de la productividad. Es importante mencionar que también se evaluó la productividad para cada organismo operador de agua potable para el periodo 2004-2006 a través del índice de Malmquist obtenido mediante el DEA; que representa la productividad total de los factores, aunque en el caso de estudio es un indicador parcial que no da cuenta de todos los factores que modifican la productividad.

El Análisis Envolvente de Datos es una técnica sin parámetros establecidos previamente que obtiene una función de producción, a partir de los datos de una muestra, para determinar la eficiencia; mientras que las técnicas paramétricas

establecen *a priori* la relación funcional entre los insumos y productos, por ejemplo la función de producción Cobb-Douglas. La técnica DEA ha sido poco usada para determinar la eficiencia en organismos operadores de agua potable en México; mientras que a nivel mundial ha alcanzado un uso prometedor en las organizaciones públicas a partir de los años noventa.

En el **capítulo 1** se presentan los conceptos fundamentales para cuantificar la productividad y la eficiencia técnica; además, se discuten los temas conceptuales alrededor de la productividad gubernamental, incluyendo la distinción entre medidas de productividad parcial, tal como la productividad laboral, de capital y la Productividad Total de los Factores (PTF). Así mismo, se menciona la justificación del porqué emplear la técnica DEA en el estudio de caso; y se hace una revisión bibliográfica de los estudios de desempeño en organismos municipales a nivel nacional e internacional empleando la técnica DEA para medir el desempeño en el suministro de agua potable. En el **capítulo 2** se define la metodología empleada para la medición de la eficiencia técnica mediante el Análisis Envolvente de Datos; además, se explican las características de los modelos matemáticos, sus ventajas y desventajas. Así mismo, se presentan las ecuaciones e información requerida para cuantificar la Productividad Total de los Factores mediante el Índice de Malmquist (IM). Posteriormente, en el **capítulo 3** se desarrolla la metodología y el cálculo de la eficiencia técnica y la productividad mediante el DEA para los sistemas municipales de distribución de agua potable en México. Finalmente, en el **capítulo 4** se presenta el análisis de resultados y las conclusiones obtenidas.





## *Resumen*



La cuantificación del desempeño en la administración pública constituye un nuevo escenario para el control de la eficiencia gubernamental. Como resultado se origina la transparencia necesaria del sector público, así como la necesidad de contar con información que permita tomar decisiones para optimizar los recursos disponibles. En este estudio se utiliza una metodología para cuantificar la eficiencia en el suministro de agua potable en los organismos municipales en México, empleando el Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés). El estudio es pertinente debido a la importancia que tiene el agua como recurso natural, y por su incidencia en la calidad de vida de la población. Los resultados obtenidos arrojan que se deben contar con mayor información relativa a la tarea que desarrollan los organismos operadores de agua potable y en la constatación de que en promedio en este sector municipal de agua potable se estarían gastando mayores recursos que los necesarios en cuanto a los servicios entregados. La información permitirá que la ciudadanía evalúe el desempeño de las autoridades y organismo que ellos han elegido.



## *Abstract*



The quantifying performance in the civil service is a new scenario for the control of the government efficiency. As a result originates the necessary transparency of the public sector, as well as the need for information that would make decisions to optimize the resources available. In this study used a methodology to quantify the efficiency in the supply of drinking water in the municipal agencies in Mexico, using the Data Envelopment Analysis. The study is relevant because of the importance of the water as a natural resource, and its impact on the quality of life of the population. The results show that it should have more information on the task to develop the agencies operators of drinking water and in the fact that in average in sector is municipal drinking water would be spending more resources than the required in regard to the services delivered. The information will enable the citizenship evaluate the performance of the authorities and agency that they have chosen.

# CAPÍTULO 1



## *Antecedentes y conceptos básicos*

En este capítulo se discuten los temas conceptuales alrededor de la eficiencia y productividad gubernamental; además, se describen las razones para utilizar la técnica DEA y se presenta una revisión bibliográfica a nivel nacional e internacional de los estudios realizados para cuantificar la eficiencia en el servicio de suministro de agua potable.

### ***1.1 Importancia de determinar la eficiencia y productividad en la administración municipal***

Para mejorar el funcionamiento en los servicios públicos es necesario establecer indicadores de desempeño que proporcionen información cuantitativa y/o cualitativa, *ya que aquello que no se puede medir, no es posible controlarlo.*

Con frecuencia se emplean los términos de eficiencia y productividad; sin embargo, no están difundidos los procedimientos dentro de las compañías para determinarlos, de ahí la importancia de contar con estudios que apliquen los conceptos de la teoría de la producción y medidas de productividad en los gobiernos locales, y en particular en los sistemas municipales de distribución de agua potable.

La palabra eficiencia proviene del latín *efficientia*, la Real Academia Española [1] la define como la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado. Farrell en su artículo clásico [2] propuso que la eficiencia de una firma consiste de dos componentes: eficiencia técnica, la cual refleja la habilidad de una firma para obtener la máxima cantidad de productos a partir de un conjunto de insumos proporcionados; y eficiencia asignativa, que refleja la habilidad de una firma para usar las proporciones óptimas de insumos, dados sus precios respectivos y la tecnología de producción. Estas dos medidas son combinadas para proporcionar la eficiencia económica total.

Productividad es definida en el diccionario de la Real Academia Española [1] como la relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra,

materiales, energía, etc. Coelli en su libro [3] define a la productividad de una firma como la razón de salidas producidas a partir de los insumos usados.

La aplicación de indicadores de desempeño como instrumentos de control ha tenido un auge importante en los últimos años en la administración municipal, debido principalmente a dos motivos: la dificultad para introducir mecanismos de mercado que permitan utilizar la capacidad de elección de los ciudadanos para favorecer la obtención de servicios de mayor calidad; y la prestación del mismo tipo de servicios en diferentes ámbitos geográficos, lo que permite la comparación del nivel de eficiencia relativa con que cada municipio utiliza los recursos aportados por sus habitantes. Dicha comparación fomentará que cada municipio se esfuerce en incrementar la calidad de sus servicios, a la vez que supondrá una aportación de información importante para el conjunto.

En una organización, la Dirección establece la misión y los objetivos que se describen en el plan de desarrollo; que no es sino una declaración de las metas y objetivos principales que los organismos esperan alcanzar en los próximos años. Los objetivos y metas crean los estándares de desempeño, cada meta debe tener un valor que se pretende alcanzar. Las medidas de desempeño proporcionan información de que tan cerca se está de tales estándares. Para dar un seguimiento del desempeño, se desarrollan los indicadores que tienen como objetivo comunicar las expectativas, identificar problemas, establecer cursos de acción directa y motivar a las personas. La manera en la que se mide el desempeño de las personas u organizaciones condiciona su comportamiento, ya que realizarán de la mejor forma aquellas actividades que inciden positivamente en el indicador de desempeño; de ahí la importancia de establecer un sistema adecuado que coadyuve a cumplir los objetivos del organismo y al mismo tiempo oriente los cambios organizacionales, para que de esta manera la Dirección se retroalimente y realice los ajustes al plan de desarrollo. Este ciclo está descrito en la figura 1.

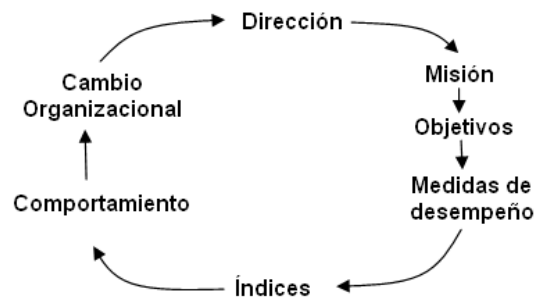


Figura 1. Impacto de la medición y publicación de datos de desempeño en una organización pública.

Los economistas, analistas de negocios y autoridades locales están interesados en la medida de la productividad por diversas razones. Primero, aunque la Productividad Total de los Factores (PTF) no mide el cambio tecnológico, si está relacionada a éste. Segundo, las medidas de productividad pueden cuantificar de manera imperfecta los servicios obtenidos sin costo adicional debido al progreso tecnológico, aunque algunos autores han argumentado que la PTF parece ser una medida imperfecta de las ganancias obtenidas sin costo adicional [4-8]. Tercero, las medidas de productividad proporcionan información acerca de las salidas que han sido producidas en una organización con respecto a los insumos utilizados y constituyen una metodología alternativa para cuantificar el desempeño del organismo. En el análisis de la productividad *lo que no se mide es tan importante como determinar lo que se mide*.

El análisis del desempeño, además de otros indicadores de la actividad del capital (incluyendo medidas independientes de Investigación y Desarrollo, inversión tecnológica y difusión) son útiles para que los administradores municipales puedan usar los resultados para desarrollar una idea de que tan bien o mal está la organización, en términos del rendimiento obtenido con respecto a la inversión realizada. Las medidas uniformes a través del tiempo, pueden ser usadas para examinar si la productividad está aumentando o disminuyendo. Estos números pueden ser comparados con otras mediciones de desempeño económico, incluyendo crecimiento del producto per cápita y medidas directas de cambio tecnológico para determinar cuales son las correlaciones entre productividad medida, crecimiento de la producción y cambio tecnológico.

En términos académicos, la generación de una teoría de la productividad constituye un avance importante en la agenda de investigación tal como lo hace notar Prescott [9]. Para este fin, la investigación sobre productividad y su medición es esencial. Si esta teoría se aplica a las organizaciones, ayudará a entender los procesos de crecimiento económico de las mismas.

En el caso de los municipios ello cobra especial relevancia, ya que estos organismos entregan múltiples bienes y servicios a la comunidad. A través de este método es posible estimar la eficiencia en términos de un conjunto más amplio de bienes y servicios respecto a un conjunto de insumos utilizados para ello. Tanto para los insumos como para los productos, se puede utilizar información en diferentes unidades de medida (unidades monetarias, número de conexiones realizadas, metros cúbicos de agua, etc.).

La evaluación del trabajo desarrollado por los organismos operadores de agua potable no se realiza en forma sistemática, ya sea porque no se cuenta con indicadores que

permitan su evaluación o bien porque no se entrega algún tipo de información sobre la eficiencia con la que se desempeñan.

Hasta el día de hoy, existen pocos estudios registrados en México que midan la eficiencia y productividad de los organismos operadores de agua potable en relación al gasto de recursos, ello se debe a la escasa información que se tiene de los insumos utilizados por parte de los organismos y de los bienes y servicios que efectivamente entregan a la población.

La originalidad de este estudio consiste en que busca evaluar que tan lejos se encuentra un determinado organismo operador de las “situaciones deseadas” utilizando la técnica conocida como Análisis Envoltante de Datos para estimar la eficiencia técnica y la productividad total de los factores en los servicios de suministro de agua potable para una muestra de organismos municipales en México.

## ***1.2 Concepto y clasificación de las medidas de eficiencia***

Antes de iniciar el estudio de la eficiencia técnica es conveniente especificar los conceptos que van a ser utilizados en el análisis posterior.

Los conceptos centrales sobre los cuales gira la discusión de este trabajo son los de la frontera de producción y eficiencia técnica. El primer término hace referencia a la máxima cantidad teórica de productos posibles, dada la combinación de insumos y la tecnología disponible, mientras que la eficiencia técnica se refiere a la capacidad que tiene una entidad para obtener el máximo de productos a partir de un conjunto de insumos [2]. Una entidad eficiente económicamente, considera tanto el ámbito técnico como los precios de los insumos y productos. Por lo tanto, evaluar la eficiencia (o ineficiencia) técnica de un conjunto de unidades homogéneas, comienza por la estimación de la frontera de producción ya que ésta no es conocida en la práctica. La figura 2 muestra la descomposición de la eficiencia [10].

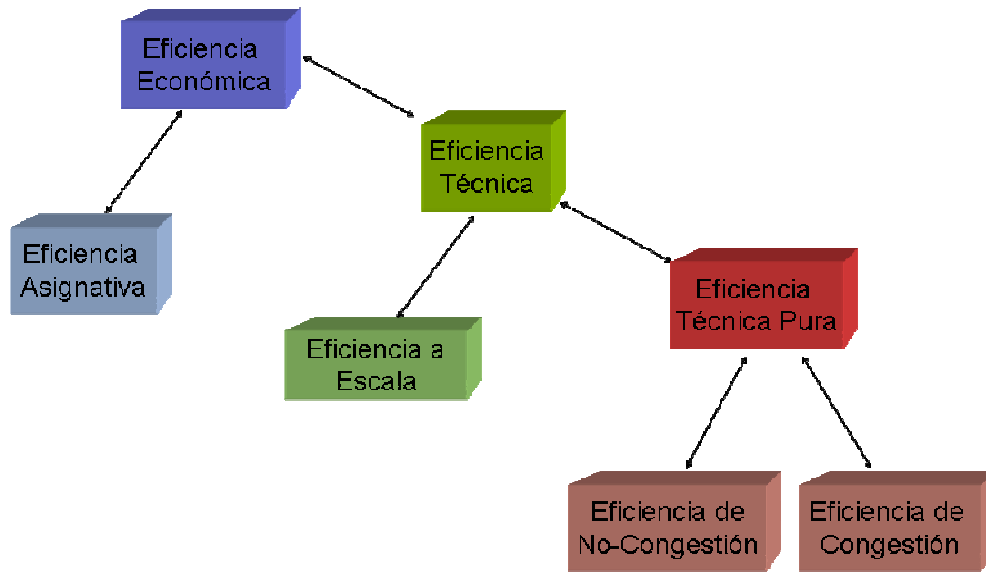


Figura 2. Descomposición de la eficiencia [10].

Los conceptos de eficiencia técnica, eficiencia asignativa y eficiencia económica introducidos por Farrell son de tipo radial (proporcional) [2]. El índice no radial más conocido es el índice de Russell [11]. Esta tesis hará referencia a los índices de eficiencia de tipo radial, los cuales serán desarrollados brevemente a continuación.

Charnes y colaboradores [12], definen a la eficiencia técnica como la capacidad que tiene una empresa para obtener el máximo nivel de productos dado un conjunto de factores de producción, en acuerdo con la definición de Farrell. Por ejemplo, se tienen cuatro unidades  $A, B, C$  y  $D$  cada una de las cuales obtiene un único producto ( $y$ ) empleando para ello dos insumos ( $x_1$  y  $x_2$ ). En la Figura 3 cada punto ( $\bullet$ ) representa las coordenadas del “plan de producción” ( $x_1/y, x_2/y$ ) observado para cada una de las unidades referidas. La frontera de producción o isocuanta de las unidades eficientes, está representada por la curva  $II'$ , de tal modo que aquellas que se encuentran por encima de la misma resultan ineficientes.

La eficiencia técnica se obtiene al comparar el valor observado de cada unidad con el valor óptimo definido por la frontera de producción estimada (isocuanta eficiente).

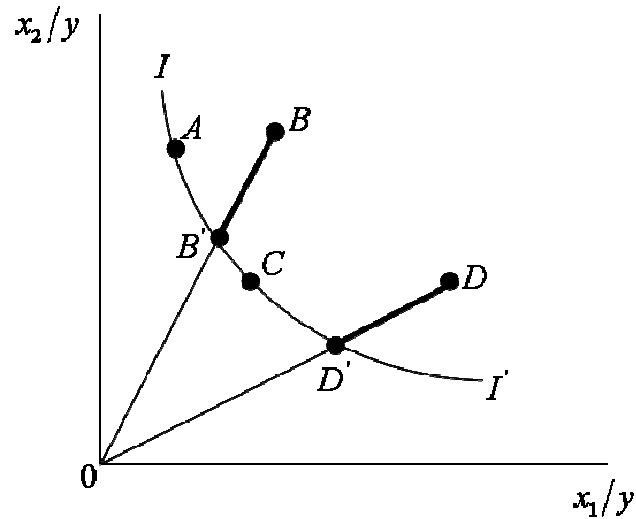


Figura 3. Eficiencia técnica radial [12].

En la figura 3 se observa que tanto la unidad  $B$  como la  $D$  son ineficientes técnicamente, puesto que ambas podrán reducir la cantidad de insumos utilizados y seguir produciendo una unidad de productos. La ineficiencia de estas unidades está dada por la distancia de  $B'B$  y  $D'D$ , respectivamente. Por el contrario, las unidades  $A$  y  $C$  son técnicamente eficientes puesto que operan sobre la frontera de producción.

La eficiencia relativa se obtiene como un cociente de distancias, para la unidad  $B$  se tiene:

$$\text{Eficiencia Técnica de } B = ET_B = \frac{OB'}{OB} \quad (1)$$

Donde  $OB'$  es la longitud de la línea desde el origen hasta el punto proyectado sobre la isocuanta eficiente de la unidad considerada y  $OB$  es la longitud de la línea que une el origen hasta el nivel de insumos dado un nivel de productos de la unidad considerada.

La eficiencia técnica definida así, sólo puede tomar valores comprendidos entre cero y uno. Una puntuación cercana a cero significa que la unidad evaluada se encuentra lejos de la frontera de producción y en consecuencia, se trata de una unidad ineficiente técnicamente. Por el contrario, una eficiencia técnica con un valor de uno indica que la unidad se encuentra sobre la isocuanta eficiente, como es el caso de las unidades  $A$  y  $C$ .

La eficiencia de precios (o asignativa) se define como la capacidad de producir un nivel de productos con el mínimo costo, empleando las proporciones óptimas de insumos,

dado sus respectivos precios y productividades marginales. Siguiendo con el planteamiento anterior, en la figura 4 se muestra la línea de isocostos  $PP'$ . La pendiente de la frontera de isocostos representa la relación entre los precios de los insumos  $x_1$  y  $x_2$ .

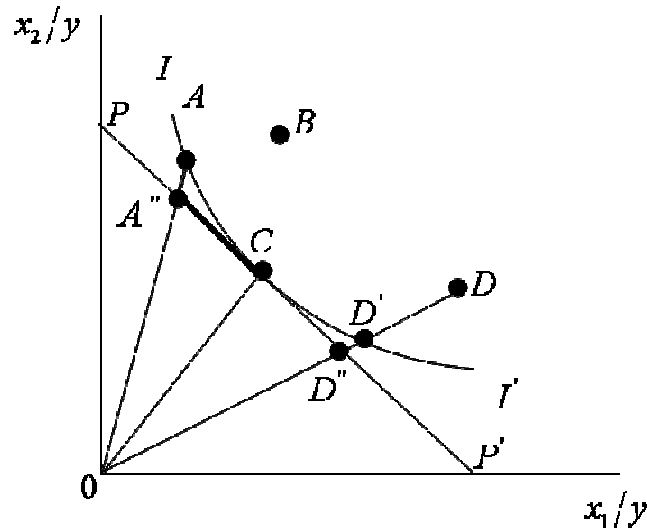


Figura 4. Frontera de isocostos  $PP'$  [12].

Las unidades  $A$  y  $C$  son técnicamente eficientes puesto que operan sobre la isocuanta eficiente. Sin embargo, como puede observarse en la figura 4, únicamente la unidad  $C$  es eficiente en precios.

La eficiencia de precios (o asignativa) puede obtenerse como la relación entre la longitud de la línea desde el origen hasta el punto proyectado sobre la línea de isocostos eficiente de la unidad considerada y la longitud de la línea que une el origen al punto proyectado sobre la isocuanta eficiente de la unidad. Para la Unidad  $A$  se tiene que la eficiencia de precios está dada por:

$$\text{Eficiencia de precios} = EP_A = \frac{OA''}{OA} \quad (2)$$

Sólo puede tomar valores comprendidos entre cero y uno, de manera que si la puntuación de eficiencia asignativa es menor a uno se dice que la unidad considerada es ineficiente en precios.

La eficiencia económica o global, es la habilidad de la empresa para producir un producto a un costo mínimo. Para alcanzar el mínimo costo la empresa debe utilizar sus insumos de la manera más eficiente (eficiencia técnica) y, además, escoger la



combinación de insumos correctamente, dado el precio relativo de los mismos (eficiencia asignativa). Para una unidad, la eficiencia económica se obtiene mediante el cociente entre la longitud de la línea que va desde el origen hasta el punto proyectado sobre la curva de isocostos eficiente y la longitud de la línea que va desde el origen hasta el punto que representa la unidad considerada.

Para la unidad  $D$  (ver figura 4) la eficiencia económica se obtiene:

$$\text{Eficiencia global} = EG_D = \frac{OD''}{OD} \quad (3)$$

Farrell (1957) descompuso la eficiencia global de la siguiente forma (para la unidad  $D$ ):

$$EG_D = \frac{OD''}{OD} = \frac{OD'}{OD} \cdot \frac{OD''}{OD'} \quad (4)$$

La eficiencia global (EG) es igual al producto de la eficiencia técnica (ET)  $OD'/OD$  y la eficiencia de precios (EP)  $OD''/OD'$  y su valor estará comprendido ente cero y uno. En la figura 4, sólo la unidad  $C$  es económicamente eficiente.

La mayoría de los estudios publicados que emplean la técnica DEA para evaluar el desempeño de las organizaciones, se enfocan en la cuantificación de la eficiencia técnica, sólo algunos trabajos abordan la medición de la eficiencia asignativa dada la dificultad para disponer de información de precios de insumos y productos [11-14].

### **1.3 Técnicas de estimación de la eficiencia**

Las técnicas de estimación de la eficiencia se agrupan básicamente en dos bloques: los modelos que utilizan las aproximaciones paramétricas y aquellas que determinan la función de producción a partir de los datos de una muestra representativa, sin suponer ninguna relación funcional entre los insumos y productos, por lo que no se emplean parámetros.

Las aproximaciones de fronteras paramétricas (determinística y estocástica) exigen especificar *a priori* una forma funcional del tipo Cobb-Douglas, Translog, entre otras. Los métodos de frontera no paramétricos, por ejemplo el Análisis Envolvente de Datos (DEA), el método conocido como Libre Disposición de la Envolvente (Free Disposal Hull, FDH) entre otros, no exigen especificar una frontera de producción, sino un grupo de propiedades formales que debe satisfacer el conjunto de producción (convexidad,

rendimientos de escala). La figura 5 muestra la clasificación de los métodos para estimar la eficiencia mediante aproximaciones paramétricas o no paramétricas.

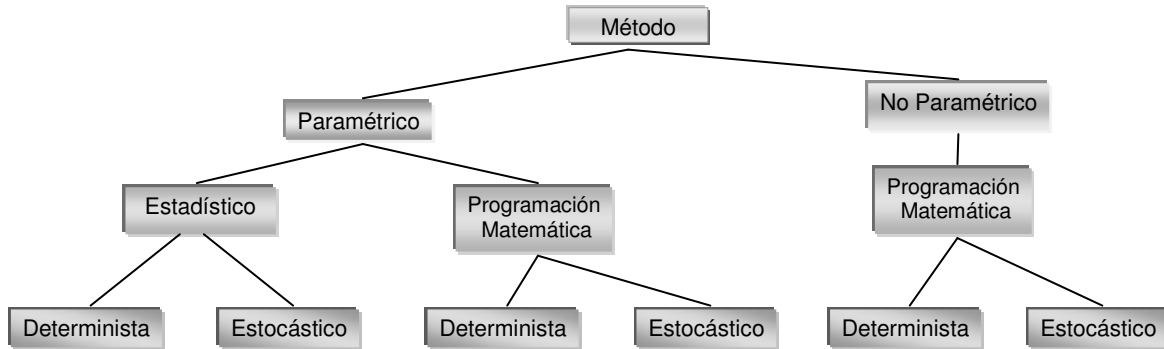


Figura 5. Métodos para estimar la eficiencia [13-14].

Los modelos paramétricos utilizan una forma funcional predeterminada con parámetros constantes para construir una función de producción (relaciona el nivel de productos obtenidos, dado un nivel de insumos) que posteriormente estiman mediante técnicas econométricas, excepto en algunos casos particulares en donde se emplea la programación matemática para generar la frontera de producción [15].

La eficiencia se mide respecto a esta función estimada, que será distinta según la forma funcional especificada *a priori*. En principio, estos métodos admiten la posibilidad de que existan unidades que se sitúan por encima de la frontera eficiente, algo que no admite el propio concepto de frontera. Por tanto, el principal problema que plantea el análisis consiste en averiguar cuánto hay que desplazar hacia arriba la estimación media hasta alcanzar una frontera productiva. Por ejemplo, en el modelo de mínimos cuadrados ordinarios corregido, la frontera se determina por la media de los comportamientos, que posteriormente puede elevarse por diferentes vías hacia los puntos extremos. Por el contrario, en los modelos que utilizan la optimización mediante funciones de probabilidad se fuerza a que todos los errores sean positivos, lo que permite obtener directamente la frontera al realizar la estimación.

Dentro de los modelos que siguen esta aproximación paramétrica, se puede hacer otra distinción en función de su carácter determinista o estocástico. Los modelos deterministas atribuyen toda la desviación de la frontera a la ineficiencia técnica. Por su parte, las fronteras estocásticas consideran que las unidades evaluadas pueden verse afectadas por diversos factores al margen de la propia ineficiencia del productor.

Las principales críticas que han recibido estos modelos se basan en que los resultados obtenidos están fuertemente condicionados por la forma funcional especificada y a la distribución del error, sobre todo cuando se dispone únicamente de datos de corte transversal (muestran los valores que adoptan las magnitudes en un momento preciso del tiempo en distintos lugares o en distintas organizaciones). Además, son métodos que no pueden utilizarse en un contexto con múltiples productos, excepto en aquellos casos en los que sea posible la agregación de todos los productos en uno solo, aunque con ello se incurra en pérdida de información importante [3].

Los métodos de aproximación no paramétrica no requieren la imposición de una forma determinada a la función de producción, siendo suficiente con la definición de un conjunto de propiedades formales que debe satisfacer el conjunto de posibilidades de producción. Su carácter no paramétrico hace que las variables incluidas en el análisis no posean propiedades estadísticas. La técnica empleada para la estimación de la frontera a través de estos métodos es la programación matemática, siendo posible distinguir dos técnicas alternativas: el Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis, DEA) y la técnica conocida como Libre Disposición de la Envolvente (Free Disposal Hull, FDH). Ambas asumen que existe libre disponibilidad de insumos y productos, pero se diferencian en la convexidad de la frontera de producción.

Los modelos FDH [16], aseguran que las evaluaciones de la eficiencia deben basarse únicamente en las actuaciones de las unidades efectivamente observadas y no en unidades ficticias construidas a partir de combinaciones lineales entre unidades que se consideren eficientes [2]. Por el contrario, en el DEA sí se incorporan a la construcción de la frontera, las combinaciones lineales entre unidades eficientes, lo que otorga una forma convexa a la frontera de producción.

En este trabajo de tesis se seguirá un modelo de aproximación no paramétrica, empleando la técnica de Análisis Envolvente de Datos para medir la eficiencia técnica y la productividad en el suministro de agua potable en organismos operadores en México.

#### ***1.4 Diferencia entre eficiencia técnica y productividad***

Es conveniente diferenciar entre dos términos: productividad y eficiencia técnica, habitualmente usados como sinónimos. La productividad se entiende como un cociente de cantidades de productos generados y cantidades de insumos utilizados por unidad

producida y puede variar debido a diferencias en la tecnología existente (considerada en la función de producción); por diferencias en la eficiencia del proceso productivo o por diferencias en el entorno en el que se produce (economías de escala) [17].

La eficiencia técnica se refiere a qué tan bien se desempeña una unidad productiva con la tecnología existente, mientras que la productividad está relacionada a la cantidad de productos elaborados dado un nivel de insumos, en otras palabras, la eficiencia técnica determina la productividad.

Supóngase un proceso productivo que emplea un único insumo en cantidad  $x$  para producir un único producto en cantidad  $y$ .

En la figura 6 se presentan tres unidades - $A$ ,  $B$  y  $C$ - donde la frontera de producción representa el máximo producto alcanzable para cada nivel de insumo y refleja el estado actual de la tecnología en una organización [18].

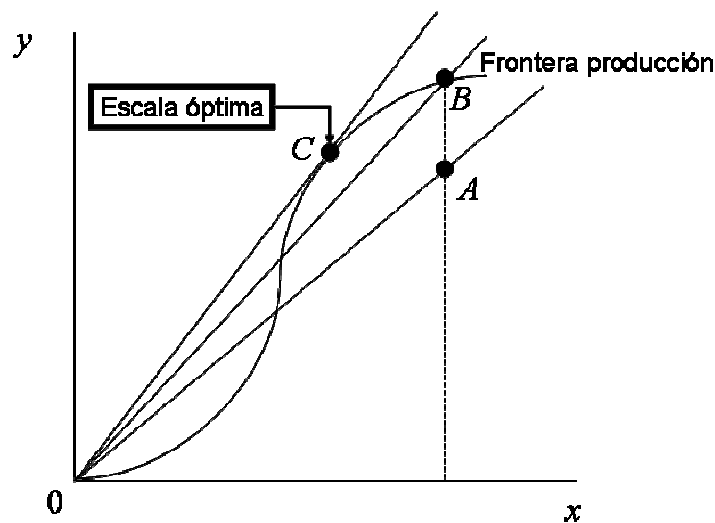


Figura 6. Escala óptima y frontera de producción [3].

Las unidades  $B$  y  $C$  son técnicamente eficientes puesto que operan sobre la frontera, en tanto que la unidad  $A$  es ineficiente al situarse por debajo de ésta. Por su parte, la productividad, se mide como la pendiente de la línea recta desde el origen hasta el punto que lo representa. Ahora, la unidad  $A$  podría ganar en eficiencia y productividad al moverse hacia el punto representado por la unidad  $B$ , mientras que ésta unidad  $B$ , técnicamente eficiente, podría ganar en productividad si mueve hacia el punto que representa a la unidad  $C$ .

Puede decirse, como conclusión, que *una organización puede ser técnicamente eficiente pero todavía ser capaz de mejorar su productividad al explorar economías de escala* [3].

### ***1.5 Estudios de la medición de la productividad y eficiencia en los servicios públicos a nivel internacional***

La medición de la eficiencia mediante el DEA ha tenido un gran desarrollo debido a las ventajas que presenta sobre el cambio tecnológico, existiendo una basta literatura referente a este tema en diversos campos de conocimiento: salud (hospitales), transporte, educación, bancos, deportes, industria eléctrica entre otros.

Dentro de los trabajos de investigación dedicados a la evaluación de la eficiencia, existe un número significativo de estudios orientados al ámbito municipal. Entre ellos destacan los que utilizan técnicas de frontera de producción no paramétricas. Las aportaciones más importantes se listan en la Tabla 1. Se compilan estudios que determinan la eficiencia técnica global en servicios municipales aplicando técnicas no paramétricas, sobresaliendo las técnicas del Análisis Envolvente de Datos y Libre Disposición de la Envolvente.

La Tabla 2 muestra la tendencia actual de los estudios que estiman la eficiencia técnica en servicios municipales específicos, utilizando la técnica de frontera no paramétrica. La evaluación del desempeño en servicios específicos se debe a que las unidades productivas globales son demasiado amplias para recoger el conjunto de indicadores que se requieren para su evaluación. Además, pueden encubrir ineficiencias entre servicios, lo que impide conseguir las mejoras en la gestión municipal [19].

Tabla 1. Estudios de la eficiencia en la gestión global en gobiernos municipales por varios autores [20].

Autores	Técnica empleada	Indicadores		Observaciones
		Insumo	Producto	
Vanden Eeckaut <i>et al.</i> (1993) [21]	FDH* y DEA**	Gasto corriente total	Población total, longitud de las carreteras mantenidas por el municipio, número de habitantes de más de 65 años, número de beneficiarios del subsidio de desempleo, número de crímenes registrados en el municipio	Explican la eficiencia mediante características políticas, fiscales y estructurales
Borger <i>et al.</i> (1994) [22]	FDH*	Número de empleados y superficie de los edificios municipales	Longitud de vías urbanas, número de beneficiarios de subsidios de renta mínima, número de estudiantes de educación primaria, superficie de parques y espacios de recreo, servicios prestados por no residentes	Explican la eficiencia municipal mediante características políticas, fiscales y estructurales
Borger y Kerstens (1996a) [23]	FDH*, DEA** y Frontera paramétrica	Gasto corriente total	Población total, población mayor de 65 años, número de beneficiarios del subsidio de desempleo, número de estudiantes de escuelas primarias, superficie de parques y espacios de recreo	Prueba las variaciones entre las diferentes técnicas empleadas para determinar la eficiencia
Borger y Kerstens (1996b) [24]	FDH*	Gasto corriente total	Población total, población mayor de 65 años, superficie urbana, número de beneficiarios del subsidio de desempleo, número de estudiantes de escuelas primarias, superficie de parques y zonas de recreo	Explican la eficiencia mediante características políticas, fiscales y estructurales del municipio
Athanassopoulus y Triantis (1998) [25]	DEA** y Frontera de costos	Gasto corriente total	Número de viviendas, superficie media de las viviendas, área urbanizada, área usada para la industria pesada, área con infraestructura turística	
Conceição Sampaio de Sousa y Ramos (1999) [26]	FDH* y DEA**	Gasto corriente total	Residentes actuales, viviendas con agua potable, viviendas con recolección de residuos, población itinerante, número de alumnos de primaria y secundaria	

\*Libre Disposición de la Envolvente

\*\* Análisis Envolvente de Datos

Continuación Tabla 1.

Autores	Técnica empleada	Indicadores		Observaciones
		Insumo	Producto	
Fried y Klein (1999) [27]	DEA **	Gastos totales e ingresos generados	Número de estudiantes, número de familias que reciben ayuda, número de crímenes, número de conexiones de saneamiento, superficie de infraestructura viaria	Se analiza la eficiencia con los cinco productos y de forma alternativa, se incluyen los tres últimos productos.
Tairou (2000) [28]	DEA **	Gasto corriente, salarios, inversiones directas	Número de certificados realizados, número de estudiantes de primaria, número de empresas con más de 50 empleados, número total de empresas, número de residencias, tasa de empleo, número total de residentes, población con más de 20 años, población con más de 60 años, población, superficie carreteras	Calcula el nivel de eficiencia municipal para comprobar si afecta a la vulnerabilidad financiera de los municipios
Nold Hughes y Edwards (2000) [29]	DEA **	Costo de educación, servicios sociales, transporte, seguridad pública, medio ambiente, transferencias recibidas, superficie, longitud de la red hidráulica, número de viviendas, habitaciones medias por vivienda, tasa de empleo, % de personas que viven y trabajan en el municipio	Valor total de propiedades	Explican la eficiencia mediante características políticas, fiscales y estructurales

\*Libre Disposición de la Envolvente

\*\* Análisis Envolvente de Datos

Continuación Tabla 1.

Autores	Técnica empleada	Indicadores		Observaciones
		Insumo	Producto	
Worthington (2000) [30]	DEA ** y Frontera paramétrica	Empleados de tiempo completo y gastos financieros	Población, número de propiedades adquiridas para la prestación de servicios de ciclo integral del agua y residuos domésticos, longitud de vías urbanas y longitud de vías rurales	Prueba las variaciones entre las diferentes técnicas empleadas
Prieto y Zofio (2001) [31]	DEA **		Agua abastecida, capacidad de los depósitos, aguas residuales evacuadas, puntos de iluminación, superficie destinada a eventos culturales, deportivos y zonas verdes	Evalúa la eficiencia municipal
Balaguer <i>et al.</i> (2002a) [32]	DEA **	Gastos	Población, superficie municipal, toneladas de residuos por año, superficie de zonas verdes, número de puntos de luz y superficie de infraestructura	Determinan la eficiencia mediante características políticas, fiscales y estructurales
Balaguer <i>et al.</i> (2002b) [33]	DEA **	Gastos	Población, toneladas de residuos, superficie de zonas verdes, número de puntos de luz, superficie de infraestructura y calidad ponderada.	Cuantifican la eficiencia mediante características políticas, fiscales y estructurales
Balaguer (2002) [34]	DEA **	Gastos	Población, superficie municipal, toneladas de residuos, superficie de zonas verdes, número de puntos de luz, superficie de infraestructura viaria, calidad ponderada y número de votos.	Explica la eficiencia mediante características políticas, fiscales y estructurales
Giménez <i>et al.</i> (2000, 2003) [35-36]	DEA **	Salarios, compra de bienes y servicios	Número de automóviles, número de edificios, toneladas de residuos ordinarios.	Explican los costos

\*Libre Disposición de la Envolvente

\*\* Análisis Envolvente de Datos



Tabla 2. Estudios con métodos de frontera no paramétrica en servicios específicos de la administración pública municipal.

País	Autor y año	Área de estudio
Estados Unidos	Parks (1983) [37], Nyhan y Martín (1999) [38]	Policía
	Norman y Stoker (1991) [39]	Abastecimiento de agua
	Cubbin <i>et al.</i> (1987) [40]	Residuos sólidos
	Haas <i>et al.</i> (2003) [41]	Transporte público
	Nolan <i>et al.</i> (2001,2002) [42-43]	
	Viton (1997, 1998) [44-45]	
Karlaftis (2004) [46]		
Reino Unido	Drake y Simper (2000, 2001, 2002) [47-48]	Policía
	Thanassoulis (1995) [49]	
	Thanassoulis (2000a y 2000b) [50-51]	Abastecimiento de agua
	Woodbury y Dollery (2004) [52]	Saneamiento
	Thanassoulis (2002) [53]	
	Cowie y Asenova (1999) [54]	
Obeng <i>et al.</i> (1997) [55]	Transporte público	
Australia	Carrington <i>et al.</i> (1997) [56]	Policía
	WSAA (1995) [57]	Abastecimiento de agua
	Worthington y Dollery (2001) [58]	Residuos sólidos
	Worthington y Dollery (2000) [59]	Urbanismo
España	Cuenca (1994) [60]	Bomberos
	García y Muñiz (2004) [61]	Abastecimiento de agua
	Vilardell (1989) [62]	Residuos sólidos
	Bosch <i>et al.</i> (2000, 2001) [63-64]	
	Delgado (2004) [65]	
	Lozano <i>et al.</i> (2004) [66]	
	Calderón (1997) [67]	Transporte público
	Pina y Torres (2001) [68]	
Grecia	Ahanassopoulos (1998) [25]	Bomberos
	Suecia	Jaldell (2002) [69]
Japón	Aida <i>et al.</i> (1998) [70]	Abastecimiento de agua
	Chang y Kao (1992) [71]	Transporte público
	Chu <i>et al.</i> (1992) [72]	
Francia	Lambert y Diechev (1993) [73]	Abastecimiento de agua
	Distexhe (1993) [74]	Residuos sólidos
	Tulkens (1993) [75]	Transporte público
	Kerstens (1996) [76]	
Dervaux <i>et al.</i> (1998) [77]		
Italia	Ancarani (2000) [78]	Abastecimiento de agua
	Ancarani y Capaldo (2001) [79]	Transporte público
	Levaggi (1994) [80]	
México	Anwandter y Ozuna (2002) [81]	Abastecimiento de agua
Portugal	Gaiola (2002) [82]	Residuos sólidos
Brasil	Tupper y Resende (2004) [83]	Abastecimiento de agua
Suiza	Burgat y Jeanrenaud (1990) [84]	Residuos sólidos
Finlandia	Sarkis (2000) [85]	Residuos sólidos
	Jenkins y Anderson (2003) [86]	
Noruega	Holvald <i>et al.</i> (2004) [87]	Transporte público
Canadá	Boadme (2004) [88]	Transporte público

## **1.6 Medición del desempeño en México**

Debido a que no se han realizando estudios que cuantifiquen la eficiencia en los servicios de suministro de agua potable en los organismos operadores en México mediante la técnica DEA, existe la oportunidad de iniciar estudios utilizando medidas de productividad en el territorio nacional.

En la actualidad existen estudios realizados que aportan información de la sustentabilidad del suministro de agua potable en México pero de manera sesgada. A continuación se muestra la literatura de trabajos previos realizados en el país que miden el desempeño en los organismos operadores de agua:

José Sámano Castillo (1997) [89], presenta una metodología de implantación de un sistema de aseguramiento de calidad basado en ISO 9000, en las organizaciones relacionadas con el sector del suministro de agua (organismos operadores y la infraestructura que manejan, por ejemplo, sistemas de potabilización y tratamiento de agua, así como de las empresas privadas dedicadas al diseño, construcción y operación de sistemas de agua en general). Todo ello como una medida necesaria para disminuir problemas y aumentar la productividad de cada organización.

Bourguett y Ochoa (2001) [90], elaboraron un manual para la reducción integral del agua, realizaron primero un diagnóstico y aplicaron técnicas de control de operaciones y mantenimiento de los sistemas de agua potable con la finalidad de garantizar el suministro de agua a las ciudades para mejorar la calidad del servicio y ahorrar electricidad y energía.

Mario O. Buenfil Rodríguez (2002) [91], evaluó el desempeño comparando la calidad del agua inicial en las fuentes abastecedoras de agua contra la calidad de agua residual desechada a los ríos o cuerpos receptores, sea por descargas directas de agua residual o a través de plantas de tratamiento. El objetivo del estudio es demostrar que las mejoras generarán un nivel creciente de agua reciclada o reutilizada dentro de una ciudad.

El Consejo Estatal de Ecología de Hidalgo (2003) [92], llevó acabo el desarrollo y construcción de indicadores ambientales. En una primera etapa, diseñó indicadores que toman como punto de referencia la creación de una plataforma sólida de conocimientos y experiencias en temas estratégicos ambientales. Y segundo, la creación de un conjunto de indicadores que posibiliten la evaluación del desempeño con respecto a los objetivos formulados en el Plan Estatal de Desarrollo y de manera paralela, brindar certidumbre en la continuidad de la planeación de la política ambiental, a través de acciones correctivas y/o la adecuación de procesos y proyectos.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2005) [93], es un libro que consta de dos partes. En la primera se describe la base conceptual y los antecedentes que explican la selección y organización de los conjuntos de indicadores ambientales. Si bien cualquier lector puede encontrar útil e interesante esta sección, en realidad está concebida como un apoyo para los encargados de desarrollar este tipo de indicadores en los gobiernos estatales y municipales, así como en diferentes dependencias. La segunda parte contiene los indicadores de desempeño ambiental para el país. En cada tema se presenta una breve introducción seguida por una justificación de los indicadores incluidos, sustentada en revisiones bibliográficas. También se muestra un esquema de organización de los indicadores de acuerdo con el modelo PER (Presión-Estado-Respuesta). En este esquema se precisa si el indicador está documentado debidamente o si falta información, asimismo, en los casos en que se utiliza un indicador en más de un tema (por ejemplo, “consumo de plaguicidas” que aparece tanto en el tema de calidad de agua como en el de suelos).

Hansen Rodríguez M. *et al.* (2005) [94], realizó un estudio sobre el comportamiento de diversos indicadores de gestión para organismos operadores de agua en el país. Propone conformar un sistema de indicadores que permita evaluar la evolución, desarrollo y modernización de los organismos operadores de agua potable, alcantarillado y saneamiento, establecer estándares y contribuir a la transparencia de la información nacional.

E. Galindo y J. Palerm-Viqueira (2004) [95], elaboran un estudio que tiene como objetivos documentar algunos conflictos entre las instituciones comunitarias autogestivas y los municipios, por la administración de sistemas de agua potable. Presentan una discusión teórica sobre la capacidad de los usuarios para gestionar los sistemas hidráulicos con que se abastecen de agua.

David Barkin y Dan Klooster (2005) [96], presentan un marco de referencia para el análisis de la apropiación social del agua basada en el concepto de la Nueva Cultura del Agua. Desde este punto de vista, examinan el sector de agua mexicano a la luz de una serie de estudios de caso originales, muchos de los cuales se realizaron expresamente para su proyecto. La revisión de la gestión del agua en México arroja luz en algunas de las contradicciones principales de un proceso de desarrollo que está lejos de ser sustentable. Aunque pocos de los organismos funcionan bien, cuando se les evalúa con indicadores internacionales, consideran que el problema principal que enfrenta la sociedad mexicana es el marco institucional –reglas y organizaciones – que establecen las condiciones para su operación. La evaluación del sistema está basada en la habilidad y compromiso para proporcionar los servicios de agua y emprender prácticas sanas de manejo ambiental. Así mismo,

afirman que México continúa siendo incapaz de definir y generar niveles aceptables de servicio y prácticas ambientales; aun peor, las prácticas vigentes ahondan la crisis en el suministro de servicios de agua y en la gestión del recurso hídrico.

David Barkin (2006) [97], presta atención al problema de la Nueva Cultura del Agua, que requiere de un debate sobre cómo distribuir el agua entre los diversos sectores y asegurar que se use con moderación. En su artículo concluye que México es incapaz de asegurar un servicio de agua adecuado y asequible y proteger los ecosistemas de los que depende. El mayor obstáculo que debe superar el país al intentar alcanzar este objetivo es la resistencia del gobierno a fomentar o incluso permitir la participación pública en el debate sobre la gestión o la supervisión de los servicios públicos.

Los estudio sobre indicadores de desempeño y medición de la eficiencia en los servicios de agua llevados a cabo en México se listan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Trabajos nacionales de indicadores de desempeño en organismos operadores de agua en México.

No.	Autores	Año	Estudio
1	José Sámano Castillo [89]	1997	Sistemas de aseguramiento de calidad ISO-9000 en la gestión integral del agua
2	Bourguett O. V., Ochoa A. L [90]	2001	Manual para la reducción integral de pérdidas de agua potable
3	Mario O. Buenfil Rodríguez [91]	2002	Demanda, uso eficiente y preservación del agua
4	Consejo Estatal de Ecología, Hidalgo [92]	2003	Indicadores ambientales del Estado de Hidalgo
5	Emmanuel Galindo Escamilla y Jacinta Palerm-Viqueira [95]	2004	Pequeños sistemas de agua potable: entre la autogestión y el manejo municipal en el estado de Hidalgo, México
6	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [93]	2005	Indicadores básicos del desempeño ambiental en México
7	Hansen Rodríguez M. Patricia, Cortés Mejía Petronilo, Bourguett Ortiz Víctor J. [94]	2005	Indicadores de gestión en organismos operadores de agua potable de México: resultados generales
8	David Barkin y Dan Klooster [96]	2005	Estrategias de gestión del agua urbana en México: Un análisis de su evolución y las limitaciones del debate para su privatización
9	David Barkin [97]	2006	La gestión del agua urbana en México
10	Steven Renzetti y Diane Dupont [98]	2008	Medidas de la eficiencia técnica en los suministro de agua Municipal: El rol del factor ambiental

# CAPÍTULO 2



## *Estimación de la frontera de eficiencia mediante el Análisis Envolvente de Datos*

En este capítulo se describe la técnica que será empleada para medir la eficiencia y productividad total de los factores en los sistemas de distribución de agua potable en México:

- Técnica del Análisis Envolvente de Datos
- Productividad Total de los Factores (Índice Malmquist)

### **2.1 Análisis Envolvente de Datos (DEA)**

El Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis, DEA) [99] es una herramienta de la investigación de operaciones (que recurre a la programación matemática) desarrollada específicamente para medir la eficiencia relativa de un conjunto de unidades organizacionales homogéneas, conocidas como “unidades tomadoras de decisión” (Decision Making Unit, DMU).

Esta técnica utiliza la información (insumos y productos) de cada unidad analizada para crear la frontera eficiente basada en el criterio de Pareto [100]. De este modo, primero se construye la frontera de producción empírica y después se evalúa la eficiencia de cada unidad que no pertenezca a la frontera de eficiencia. La técnica no es considerada estadística puesto que no asume que la eficiencia no captada siga algún tipo de distribución probabilística [101].

En cuanto al proceso de evaluación, se considera que una unidad productiva es eficiente cuando pertenece a la frontera de producción; es decir, si se produce más de un producto sin generar menores cantidades de los demás productos, o bien, cuando se utilizan menos insumos con el mismo nivel de producción [102].

Para las unidades que no están dentro de la frontera de producción, lo ideal es comparar cada unidad no eficiente con aquella que lo sea y, a la vez, tenga una técnica

de producción similar; es decir, que utilice insumos similares para producir salidas parecidas. Pero no necesariamente debe ocurrir que esta entidad, eficiente y homogénea técnicamente, deba tener el mismo reflejo en la realidad. Puede ocurrir que la unidad con la que se compare la entidad en evaluación no sea real sino una combinación lineal de otras existentes. Esta peculiaridad es perfectamente coherente con el planteamiento de Farrell [2].

Un punto que debe quedar claro para el caso de estudio es que a través de la técnica DEA se llevará a cabo una comparación respecto a un punto de referencia. Por ello, el nivel de eficiencia estimado corresponde a la situación de un organismo operador de agua potable en relación a los demás, es decir, se mide la eficiencia relativa de un organismo operador con respecto a los demás analizados.

Dada la información disponible, se evaluará la eficiencia técnica. Por definición, un organismo operador de agua potable, visto como un productor de bienes y servicios municipales, es eficiente cuando para un determinado nivel de producción, no se puede reducir la cantidad de insumos utilizados sin reducir el nivel producido.

## ***2.2 Caracterización de los modelos DEA***

Los modelos DEA pueden ser clasificados, básicamente en función de:

- a) El tipo de medida de eficiencia que proporcionan: modelos radiales [2, 103] y no radiales [11, 24, 104-107].
- b) La orientación del modelo: orientado a insumos; orientado a productos y orientado a insumos-productos.
- c) La tipología de los rendimientos a escala que caracterizan la tecnología de producción, entendida como los procedimientos técnicos en que los factores productivos son combinados para obtener un conjunto de productos, de tal forma que esa combinación de factores puede caracterizarse por la existencia de rendimientos a escala: constantes o variables a escala.

### **2.2.1. Orientación del Modelo**

Siguiendo a Charnes, Cooper y Rhodes (1981) [102], la eficiencia puede ser especificada con relación a dos orientaciones (o direcciones) básicas, pudiendo hacer referencia a modelos:

1. Orientados a insumos: buscan, dado el nivel de productos, la máxima reducción proporcional en el vector de insumos mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción.
2. Orientados a productos: buscan, dado el nivel de insumos, el máximo incremento proporcional de los productos permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción. En este sentido una unidad no puede ser caracterizada como eficiente si es posible incrementar cualquier producto sin incrementar ningún insumo y sin disminuir ningún otro producto.

Teniendo en cuenta las orientaciones definidas, una unidad será considerada eficiente si, y solo si, no es posible incrementar las cantidades de productos manteniendo fijas las cantidades de insumos utilizadas o si no es posible disminuir las cantidades de insumos empleadas sin alterar las cantidades de productos obtenidas [102].

En la figura 7 se representa el supuesto de rendimientos constantes a escala, para el caso de un único insumo y un único producto, en ella puede verse cómo la unidad *A* es ineficiente técnicamente dado que se sitúa por debajo de la frontera de producción.

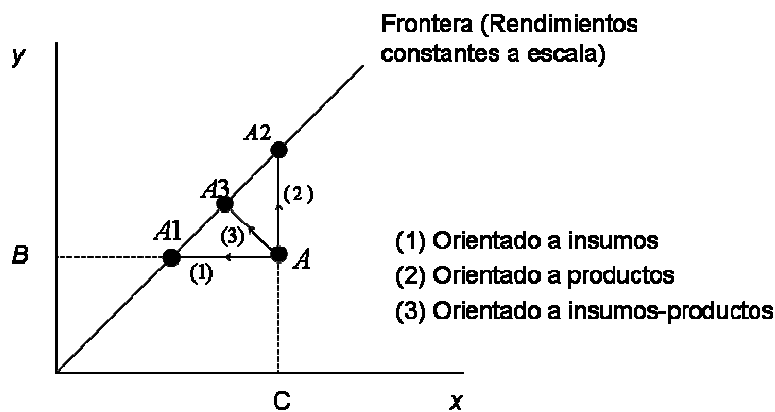


Figura 7. Frontera con rendimientos constantes a escala [102].

Se observa que bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, las medidas de eficiencia orientadas a insumos o productos coinciden. Además, cabe la posibilidad de una tercera opción correspondiente a los denominados modelos no orientados (también llamados orientados a insumos-productos), en los que tanto los insumos como los productos son controlables y buscan simultáneamente la reducción de insumos y la expansión de productos equiproporcional y que dan lugar a medidas de eficiencia hiperbólica [108].

## **2.2.2 Tipología de los rendimientos a escala**

Para evaluar la eficiencia de un conjunto de unidades es necesario identificar la tipología de los rendimientos a escala que define la frontera de producción.

Los rendimientos a escala [108], que indican cómo varía la cantidad producida por una empresa a medida que varía el uso de todos los factores que intervienen en el proceso de producción en la misma proporción, pueden ser constantes, crecientes o decrecientes:

1. Rendimientos constantes a Escala: es cuando el incremento porcentual del producto es igual al incremento porcentual de los recursos productivos.
2. Rendimientos crecientes a escala (o economías de escala): se dice que la tecnología exhibe este tipo de rendimientos cuando el incremento porcentual del producto es mayor que el incremento porcentual de los factores.
3. Rendimientos decrecientes a escala (o des-economías de escala): cuando el incremento porcentual del producto es menor que el incremento porcentual de los insumos.

## **2.3 Ventajas y desventajas del Análisis DEA**

El DEA presenta una serie de ventajas que la han convertido, en relativamente poco tiempo, en una técnica muy utilizada.

Las ventajas más importantes de la técnica DEA son las siguientes [109]:

1. Caracteriza cada una de las unidades mediante una única puntuación de eficiencia relativa.
2. Al proyectar cada unidad ineficiente sobre la envolvente eficiente destaca áreas de mejora para cada unidad.
3. Posibilidad de ajustarse a variables exógenas e incorporar variables categóricas.
4. Capacidad para manejar situaciones de múltiples insumos y salidas expresados en distintas unidades de medida [109-110].
5. No supone ninguna forma funcional entre el nivel de insumos y el nivel de productos (se suponen que todos los insumos son utilizados conjuntamente para generar un conjunto de productos) [111].
6. No supone una distribución de la ineficiencia [112] sino determina la frontera de mejor práctica e identifica las unidades ineficientes de tal forma que cada una de



ellas es comparada con una unidad eficiente o combinación de unidades eficientes. Consecuentemente, el DEA facilita la identificación de las fuentes y cantidades de ineficiencia permitiendo establecer un plan para la unidad ineficiente.

7. Optimiza la medida de la eficiencia técnica de cada unidad en relación con las otras unidades.

En tanto que las desventajas que presenta la técnica DEA, resaltan las siguientes:

1. Una de las mayores críticas recibidas es que se trata de una aproximación determinista y no tiene en cuenta influencias sobre el proceso productivo de carácter aleatorio, por lo que se genera incertidumbre, errores de medida o introducción incorrecta de datos [110].
2. Si la incertidumbre está presente, los resultados pueden ser erróneos y conducir a que una unidad aparezca falsamente como eficiente; es decir, la frontera puede cambiar de forma y/o posición y, consecuentemente, puede estar mostrando unidades ineficientes cuando realmente no lo son.
3. Puede mostrar sensibilidad a la existencia de observaciones extremas, lo que puede derivar en una sobreestimación de la misma [113].
4. Si hay omisión de insumos y productos importantes puede redundar en resultados sesgados.

## ***2.4 Modelos básicos del Análisis Envolvente de Datos***

El DEA es un grupo de conceptos y métodos que, en su estructura básica puede sintetizarse en cuatro tipos básicos:

- Modelo DEA CCR (Charnes - Cooper – Rhodes)
- Modelo DEA BCC (Banker - Charnes – Cooper)
- Modelo Multiplicativo
- Modelo Aditivo

Para este estudio sólo se aplicarán los modelos DEA-CCR y DEA-BCC para estimar la eficiencia técnica relativa.

### 2.4.1 Modelo DEA CCR

El Modelo DEA CCR, así denominado por haber sido desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes en 1978 [12]. Proporciona medidas de eficiencia radiales y orientación a insumos o productos con rendimientos constantes a escala.

Éste modelo en términos generales puede escribirse de tres formas distintas: fraccional (cociente), multiplicativa y envolvente.

En DEA, la eficiencia técnica (relativa) de cada una de las unidades se define, extendiendo el concepto dado en la sección 1.2, como el cociente entre la suma ponderada de los productos  $\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$  y la suma ponderada de los insumos  $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$ .

El modelo DEA CCR orientado a insumos en forma de cociente quedaría de la siguiente forma:

*Modelo 2.1a*

$$\text{Maximizar}_{u,v} \quad h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}$$

Sujeto a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1$$

$$\text{Para:} \quad u_r, v_i \geq 0$$

Donde:

1. Se consideran  $n$  unidades ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), cada una de las cuales utiliza el mismo nivel de insumos para obtener el mismo nivel productos en diferentes cantidades cada uno.
2.  $x_{ij}$  ( $x_{ij} \geq 0$ ), representa las cantidades de insumos  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) consumidos por la  $j$ -ésima unidad.
3.  $x_{i0}$ , representa la cantidad de insumos  $i$  consumido por la unidad que es evaluada, unidad 0.
4.  $y_{i0}$  ( $y_{i0} \geq 0$ ), representa las cantidades observadas de productos  $r$  ( $r = 1, 2, \dots, s$ ) producidos por la  $j$ -ésima unidad.

5.  $y_{i0}$ , representa la cantidad de productos obtenido por la unidad que es evaluada, unidad 0.
6.  $u_r$  ( $r = 1, 2, \dots, s$ ) y  $v_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), representan los pesos (o multiplicadores) de los productos e insumos, respectivamente.

El modelo 2.1a, problema no lineal, pretende obtener el conjunto óptimo de pesos (o multiplicadores)  $\{u_r\}$  y  $\{v_i\}$  que maximicen la eficiencia relativa  $h_0$ , de la unidad 0 definida como el cociente de la suma ponderada de productos y la suma ponderada de insumos, sujeto a la restricción de que ninguna unidad puede tener una puntuación de eficiencia mayor que uno, usando estos mismos pesos. Evidentemente, los pesos serán diferentes entre las distintas unidades.

Si la solución óptima es  $h_0^* = 1$  esto indicará que la unidad que está siendo evaluada es eficiente en relación con las otras unidades. Si  $h_0^* < 1$ , la unidad será ineficiente.

En este caso, las unidades que con los mismos pesos  $u_r$  y  $v_i$  asignados a la unidad ineficiente que está siendo evaluada resulten ser eficientes se denominan pares. Estos pares constituyen el denominado conjunto de referencia eficiente de la unidad ineficiente.

Al poco tiempo de publicar su trabajo Charnes, Cooper y Rhodes (1978) [12], sustituyen la condición de no-negatividad ( $u_r, v_i \geq 0$ ) del modelo fraccional 2.1a por una condición de positividad estricta ( $u_r, v_i \geq \varepsilon$ ), donde  $\varepsilon$  es un infinitésimo no-arquimedeo (es habitual sustituir  $\varepsilon$  por un número muy pequeño, además cabe destacar que en la práctica  $\varepsilon$  es manejado por el software Frontier Analyst Versión 4.0 utilizado en el estudio y por lo tanto, no necesita ser especificado explícitamente), por ejemplo  $\varepsilon = 10^{-6}$  [114-116]. Esto con el fin de evitar que una unidad, pese a presentar  $h_0^* = 1$ , sea incorrectamente caracterizada como eficiente al obtener en la solución óptima algún peso  $u_r$  y/o  $v_i$  el valor cero siendo en consecuencia el correspondiente insumo y/o producto obviado en la determinación de la eficiencia [117-118].

El modelo fraccional por lo tanto quedará de la siguiente forma:

*Modelo 2.1b*

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } u, v \quad & h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \\ \text{Sujeto a:} \quad & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \\ \text{Para:} \quad & u_r, v_i \geq \varepsilon \end{aligned}$$

En este modelo para los pesos óptimos ( $u_r^*$  y  $v_i^*$ ) se debe tenerse en cuenta que los valores de éstos diferirán de una unidad a otra, puesto que el modelo 2.1b debe ser resuelto para cada una de las  $n$  unidades (esta flexibilidad en la elección de pesos es considerada tanto una debilidad como una fortaleza de la técnica DEA) [119], cada una de las cuales busca a su vez, los mejores pesos que maximicen su eficiencia.

Un inconveniente del modelo planteado es que genera un número infinito de soluciones óptimas. Si ( $u_r^*$  y  $v_i^*$ ) son soluciones entonces ( $\beta u_r^*$  y  $\beta v_i^*$ ) también es óptimo para  $\beta > 0$  [109].

El modelo DEA CCR en forma de fraccional puede ser linealizado siguiendo una transformación lineal de Charnes y Cooper (1962) [120] que selecciona la solución  $(\mu, \delta)$  para que  $\sum_{i=0}^m \delta_i x_{i0} = 1$ . Realizando dicho cambio de variables [16, 121-122] se tiene:

$$\begin{aligned} \mu_r &= t \cdot u_r \\ \delta_i &= t \cdot v_i \\ t &= \frac{1}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \\ \text{Para todo:} \quad & t > 0 \end{aligned}$$

Sustituyendo en el modelo fraccional 2.1b, se obtiene el problema lineal equivalente, conocido como modelo en forma multiplicativa, el cual se escribe como:

### Modelo 2.2

$$\text{Maximizar } \mu, \nu \quad w_0 = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m \delta_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum \delta_i x_{ij} \leq 0$$

$$\text{Para:} \quad \mu_r \delta_i \geq \varepsilon$$

El insumo virtual ha sido normalizado a la unidad  $\sum_{i=1}^m \delta_i x_{i0} = 1$ , ésta se conoce como restricción de normalización.

La solución del problema dado por el modelo 2.2, debe resolverse para cada una de las unidades consideradas, esta solución determinará los valores óptimos de los pesos  $\mu_r$  y  $\delta_i$ , esto es  $\mu_r^*$  y  $\delta_i^*$ . Debe tenerse en cuenta que cualquier múltiplo de estos valores óptimos será óptimo en el modelo 2.1b [119].

Ahora bien, el modelo 2.2 de forma multiplicativa también puede expresarse matricialmente como:

### Modelo 2.3

$$\text{Maximizar } \mu, \delta \quad w_0 = \mu^T y_0$$

Sujeto a:

$$\delta^T x_0 = 1$$

$$\mu^T Y - \delta^T X \leq 0$$

$$\text{Para:} \quad \mu^T, \delta^T \geq I\varepsilon$$

Donde (notación utilizada):

1. Y, es una matriz de productos de orden  $(s \times n)$ .

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & & & \\ y_{i1} & y_{i2} & \cdots & y_{in} \\ \vdots & & & \\ y_{s1} & y_{s2} & \cdots & y_{sn} \end{bmatrix}$$

2.  $y_0$ , representa el vector producto de la unidad que está siendo evaluada.
3.  $X$ , es una matriz de insumos de orden  $(m \times n)$ .

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & & & \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{in} \\ \vdots & & & \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

4.  $x_0$ , representa el vector insumo de la unidad que está siendo evaluada.
5.  $\mu$ , es el vector producto  $(s \times 1)$  de pesos y  $\delta$  es el vector insumo  $(m \times 1)$  de pesos.

El modelo DEA CCR en forma envolvente describe que para todo problema lineal original (problema primal) existe otro problema lineal asociado, denominado problema dual que puede ser utilizado para determinar la solución del problema primal. Existe una variable dual por cada restricción primal y una restricción dual por cada variable primal. En la Tabla 4 se presenta la relación entre primal y dual del modelo 2.3.

Tabla 4. Restricciones primal y dual [123].

Restricción primal (modelo 2.3)	Restricción dual (modelo 2.4)
$\delta^T x_0 = 1$	$\theta$
$\mu^T Y - \delta^T X \leq 0$	$\lambda \geq 0$
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Función objetivo a maximizar</li> <li>2. Términos independientes de la restricción</li> <li>3. Coeficientes de las variables en la función objetivo</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Función objetivo a minimizar</li> <li>2. Coeficiente de las variables en la función objetivo</li> <li>3. Términos independientes de la restricción</li> </ol>

Por tanto el análisis de eficiencia técnica se realizará utilizando el modelo DEA CCR orientado a productos suponiendo rendimientos constantes a escala en la tecnología de producción de los organismos operadores de agua.

### Modelo 2.4

$$\text{Maximizar } \theta, \lambda \quad z_0 = \theta_0 - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta_0 x_{i0}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0}$$

$$r = 1, \dots, s ; \quad i = 1, \dots, m ; \quad \lambda_j \geq 0$$

Donde:

$z_0$  = Índice de eficiencia del organismo operador evaluado.

$x_{ij}$  = Cantidad de insumos  $i$  del organismo operador  $j$

$y_{rj}$  = Cantidad de productos  $r$  del organismo operador  $j$

$s_i^-$  = Holgura de insumos  $i$

$s_r^+$  = Holgura de productos  $r$

$\lambda_j$  = Ponderación asignada

$s$  = Número de productos

$m$  = Número de insumos

$n$  = Número de DMU's (organismos operadores de agua) analizados.

Cabe destacar que la mayor parte de las aplicaciones de la técnica DEA emplean el modelo de forma envolvente para la evaluación de la eficiencia. Esto es porque el problema lineal DEA CCR primal orientado a insumos (modelo 2.3) está definido por un número de restricciones igual a  $n+1$ . Sin embargo el problema lineal DEA CCR dual orientado a insumos (modelo 2.4) está sujeto a  $s+m$  restricciones. Por tanto, como el número de unidades con las que trabaja suele ser mucho mayor que el número total de insumos y productos, esta es la razón por la que el modelo DEA CCR dual es generalmente el problema preferido para ser resuelto [3].

### 2.4.2 Modelo DEA BCC

El Modelo DEA BCC, así denominado por haber sido desarrollado por Banker, Charnes y Cooper en 1989 [124] permite que la tipología de rendimientos a escala sea variable. Es una extensión de modelo DEA CCR. Por tanto, su formulación es similar a diferencia de que el DEA BCC introduce el supuesto de rendimientos variables a escala.

## 2.5 Índice de Productividad de Malmquist

A continuación se describe la construcción del índice de Productividad Total de los Factores (PTF) de Malmquist utilizando funciones de distancia orientadas a los insumos.

El índice de productividad de Malmquist se define como la razón entre las funciones de distancia de la observación  $i$  en el periodo  $t$ , respecto a la tecnología de referencia en el periodo  $t$  o  $s$ . Siendo aquella de referencia la existente en  $s$ , se define el índice por:

$$m_i(y_s, x_s, y_t, x_t) = \left[ m_i^s(y_s, x_s, y_t, x_t) \times m_i^t(y_s, x_s, y_t, x_t) \right]^{1/2}$$

$$m_i^s(y_s, x_s, y_t, x_t) = \frac{d_i^s(y_t, x_t)}{d_i^s(y_s, x_s)} \quad ; \quad m_i^t(y_s, x_s, y_t, x_t) = \frac{d_i^t(y_t, x_t)}{d_i^t(y_s, x_s)}$$

$$m_i(y_s, x_s, y_t, x_t) = \left[ \frac{d_i^s(y_t, x_t)}{d_i^s(y_s, x_s)} \times \frac{d_i^t(y_t, x_t)}{d_i^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2}$$

Donde la notación  $d_i^s(y_t, x_t)$  representa la distancia desde la observación del periodo  $t$  a la tecnología del periodo  $s$ . Un valor de  $m_i$  más grande que *uno* indica una tasa de crecimiento positiva de la PTF desde el periodo  $s$  al periodo  $t$ , mientras que un valor menor a *uno* indica una declinación de la PTF. Nótese que  $m_i$  es la media geométrica de dos índices de productividad. El primero se evalúa con respecto a la tecnología en el periodo  $s$  y el segundo con respecto a la tecnología en el periodo  $t$ .

Un camino equivalente para describir el índice de productividad es:

$$m_i(y_s, x_s, y_t, x_t) = \underbrace{\frac{d_i^t(y_t, x_t)}{d_i^s(y_s, x_s)}}_{\text{Cambio en la eficiencia}} \times \underbrace{\left[ \frac{d_i^s(y_t, x_t)}{d_i^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_i^s(y_s, x_s)}{d_i^t(y_s, x_s)} \right]}_{\text{Cambio Técnico}}^{1/2}$$

Donde  $\frac{d_i^t(y_t, x_t)}{d_i^s(y_s, x_s)}$  mide el cambio en la medida de eficiencia técnica orientada a productos entre los periodos  $s$  y  $t$ . Es decir, el cambio de eficiencia es equivalente a la razón de la eficiencia técnica en el periodo  $t$  sobre la eficiencia técnica en el periodo  $s$ .



Así, los dos términos que componen  $m_i$  serían:

$$\Delta ET_{CRS} = \frac{d_i^t(y_t, x_t)}{d_i^s(y_s, x_s)} = \frac{y_t/y_c}{y_s/y_a} \quad ; \quad \Delta T = \left[ \frac{d_i^s(y_t, x_t)}{d_i^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_i^s(y_s, x_s)}{d_i^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2} = \left[ \frac{y_t/y_b}{y_t/y_c} \times \frac{y_s/y_a}{y_s/y_b} \right]$$

$$\Delta PTF = \Delta ET_{CRS} \times \Delta T$$

$$ET_{CRS} = ET_{VRS} \times EE$$

De tal forma que:

$$\Delta PTF = \Delta ET \times \Delta T \times EE$$

Por lo tanto, el crecimiento de la PTF a través del tiempo es el resultado de tres componentes:

- i) Cambios de Eficiencia Técnica (acercamiento a la frontera).
- ii) Cambios Tecnológicos (desplazamiento de la frontera).
- iii) Cambios de Eficiencia de Escala (tamaño).

Esta descomposición se ilustra en la figura 8 donde se asume una tecnología con retornos constantes de escala que involucra un solo insumo y un solo producto. El punto  $E$  se refiere al periodo inicial (tiempo  $t$ ), y el punto  $D$  al segundo periodo (tiempo  $s$ ), respectivamente. En cada periodo la firma opera bajo la tecnología para ese periodo en cuestión. De esta manera existe ineficiencia técnica en ambos periodos.

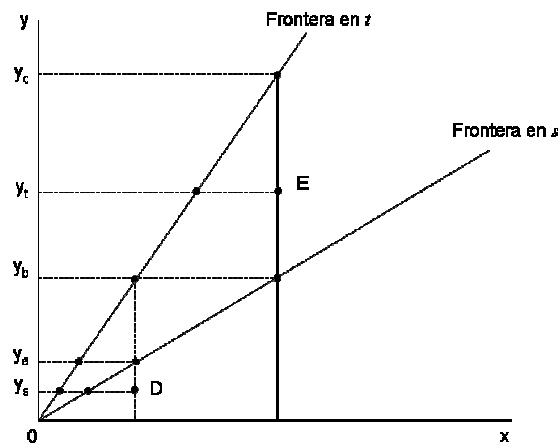


Figura 8. Índice de Malmquist de una medida de eficiencia orientada a productos y una tecnología con rendimientos constantes a escala.

## CAPÍTULO 3



### *Medición de la productividad en los sistemas municipales de distribución de agua potable*

En este capítulo se identifican los factores que determinan la eficiencia técnica y la productividad total de los factores en los sistemas municipales de distribución de agua potable en México.

En los últimos años, los niveles de cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado han mejorado de manera significativa. Hoy en día 9 de cada 10 mexicanos tienen acceso a agua potable y 8 de cada 10 al alcantarillado. En México existe 2446 municipios, con un total de 2366 organismos operadores de agua a lo largo del país [125], con una población total de 103.25 millones de personas [126], de las cuales solamente se abastece el 89.2% con agua potable y el 85.6% al servicio de alcantarillado. Lo que respecta a la disponibilidad de agua se cuenta con 472,294 Hm<sup>3</sup> de agua [93], de los cuales aproximadamente el 20% se dispone en acuíferos y el 80% corresponde escurrimientos superficiales.

Aún con estas estadísticas no se registran avances, pues la mayoría de los organismos operadores de agua potable del país presentan una situación crítica, debido a elevadas pérdidas de agua, baja calidad de los servicios y ausencia de estudios que reflejen la mejora y productividad en el sistema [126]. De ahí la necesidad de desarrollar herramientas que coadyuven a la toma de decisiones.

#### **3.1 Metodología empleada**

En la siguiente sección se describe la metodología que fue empleada en la obtención y procesamiento de información para abordar el caso de estudio: análisis del desempeño de los servicios de suministro de agua potable en organismos operadores de México. La figura 9 muestra el diseño esquemático de la metodología y posteriormente serán descritas detalladamente las actividades que lo comprenden.

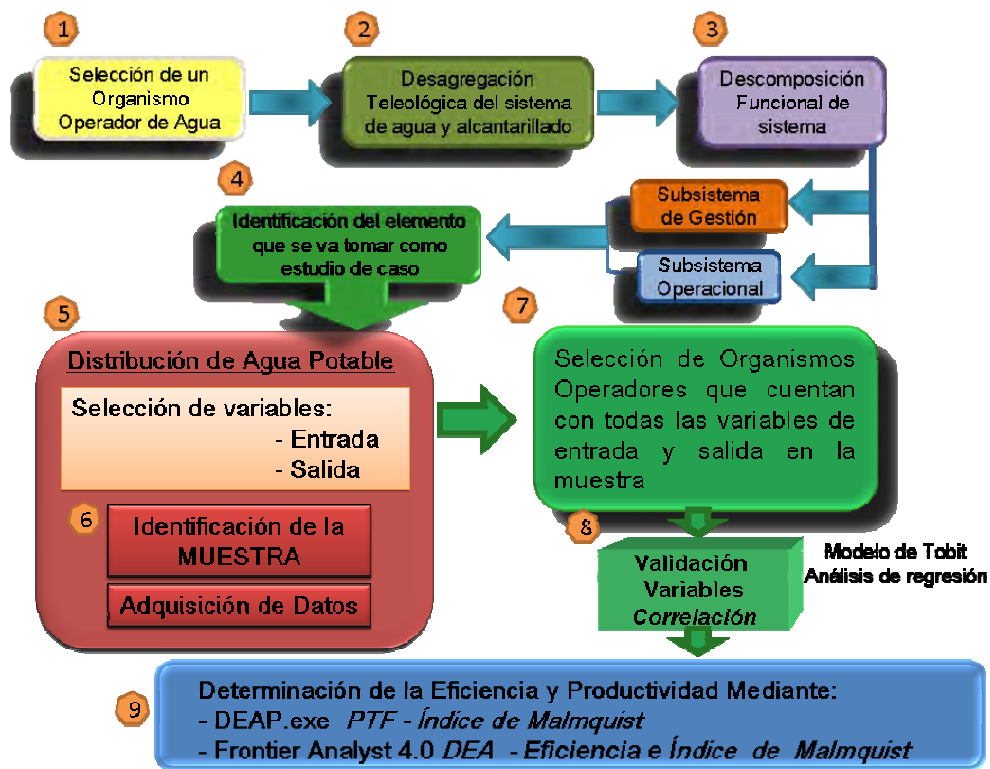
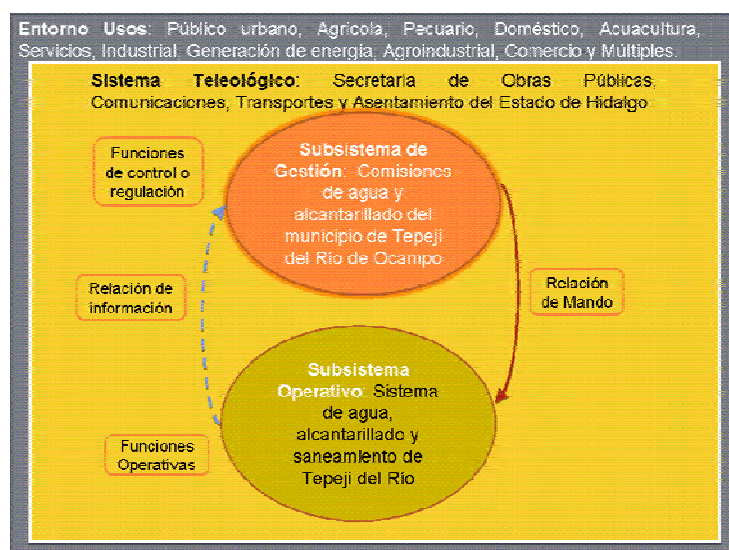


Figura 9. Metodología que resuelve el problema

## 1. Selección del organismo operador de agua

El organismo operador que se tomará como muestra para desagregarlo sistemáticamente es la Comisión de Agua y Alcantarillado del Municipio de Tepeji del Río de Ocampo, Hidalgo (CAAMTROH).

## 2. Descomposición sistemática teleológica del organismo operador de agua

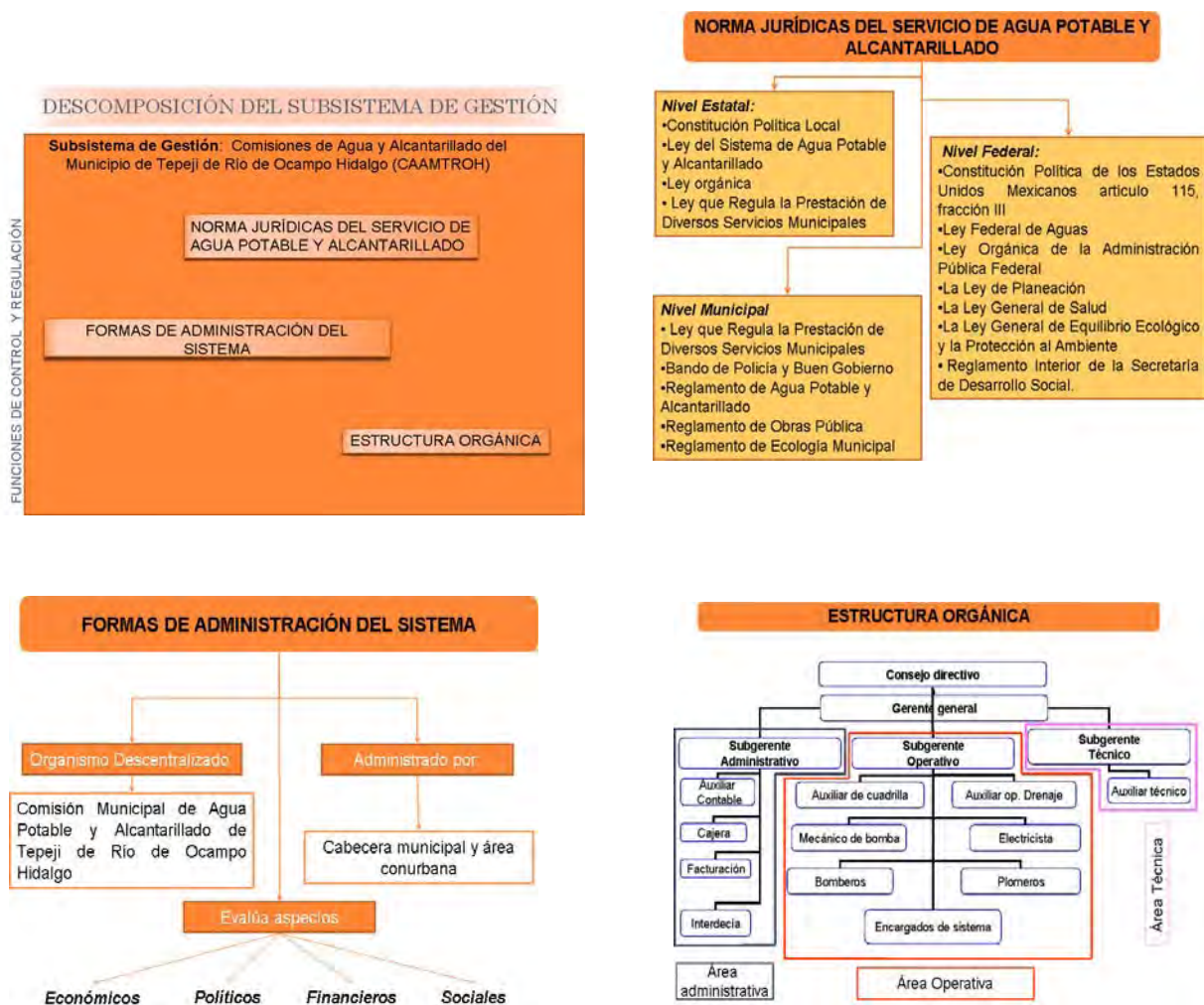


El organismo operador de agua CAAMTRO es descompuesto en un modelo sistémico teleológico identificando en su análisis; el sistema, su entorno, los subsistemas de gestión y operación, e interrelaciones funcionales. Este modelo nos servirá para relacionar los elementos que constituyen el organismo operador.

### 3. Descomposición funcional de los subsistemas de gestión y operación

Estos diagramas representan la descomposición de la funciones del organismo operador CAAMTROH, y tiene como objetivo representar jerárquicamente los subsistemas de gestión y operación. En ellos se muestran los elementos que intervienen en cada subsistema; la estructura organizacional, los flujos de información, la normatividad de operación y flujo de datos de entrada y salida.

#### 1.1 Desagregación del subsistema de gestión



El subsistema de gestión: comisión de agua potable y alcantarillado de Tepeji del Río cuenta con tres elementos funcionales, cada uno de ellos es desagregado para tener una visión global del sistema, los cuales son: 1) Normas jurídicas del servicio de agua potable y alcantarillado, 2) Formas de administración del sistema y 3) Estructura Orgánica de la comisión.

## 1.2 Desagregación del subsistema operativo

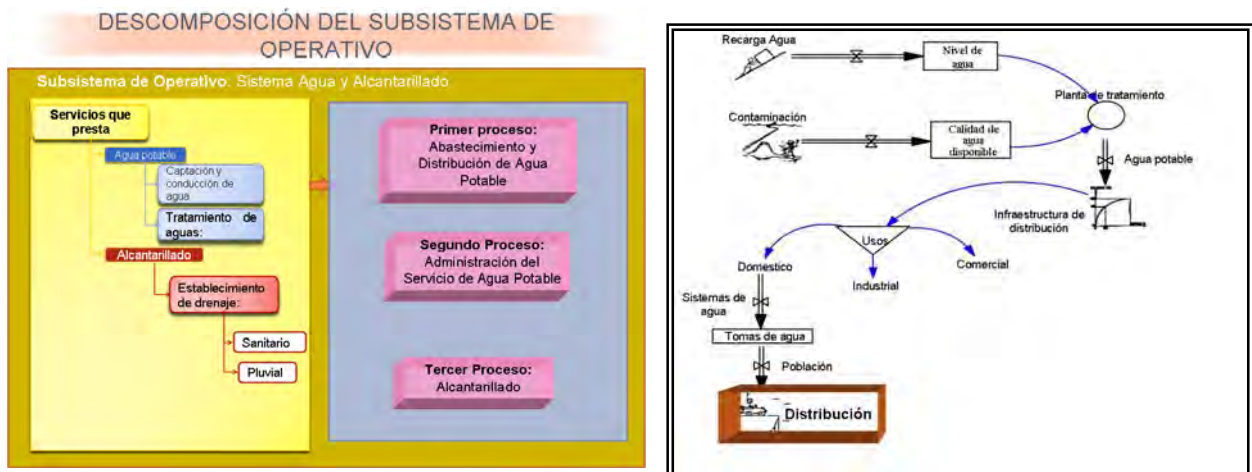


Figura 10. Muestra la desagregación del subsistema operativo realizado con software Ithink 5.1.1.

El subsistema de operación: Sistema de agua y alcantarillado se conforma por los servicios que ofrece a la ciudadanía el organismo operador y desglosa los tres procesos que la integran: 1) Abastecimiento y distribución de agua potable, 2) Administración del sistema de agua potable y 3) Alcantarillado. En la figura 10 se observa la desagregación del subsistema de operación y se muestra el proceso de operación desde que el agua se extrae del acuífero hasta la distribución de agua potable a la ciudadanía mediante el software Ithink versión 5.1.1,.

## 4. Identificación del elemento que se va a tomar como estudio de caso

La figura 11 muestra como un organismo operador cuenta con dos operaciones importantes; por un lado el agua residual y por el otro el agua potable, se observa como estas operaciones son desagregadas en función de lo que ofrecen a la ciudadanía; sin embargo este estudio de tesis se centrará solamente en la operación de agua potable enfocado al suministro de agua potable (Distribución).

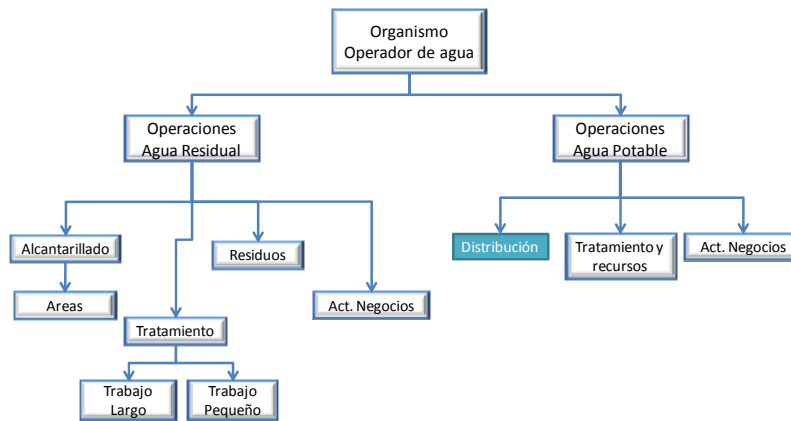


Figura 11. Agrupando las operaciones de la compañía de agua dentro de sus funciones

## 5. Enfoque de la etapa modelada

El suministro de agua potable, como los servicios públicos son elementos de utilidad que satisfacen las necesidades permitiendo la detección de dos actividades separadas; Por una parte, la distribución de agua potable atiende la demanda diaria de los clientes y por otra el tratamiento de agua que hace que el agua sea bebible y segura.

La etapa de tratamiento incluye todo el proceso químico llevado a cabo con el agua para el propósito de hacerla bebible para consumo: así como también los diferentes análisis realizados en beneficio de la verificación de parámetros de calidad y potabilidad para la previa distribución neta. La calidad de agua suministrada deberá ser controlada por el departamento de salud y el ambiental, y por medio de la corporación municipal asegurando el cumplimiento de algunos parámetros mínimos requeridos respecto a la calidad del suministro de agua por el análisis muestral de agua tomado más o menos genéricamente.



Figura 12. Tres etapas desde la extracción del agua hasta la distribución de agua

La figura 12 muestra la fase de distribución que conlleva el impulso de almacenar agua en tanques y torres para su circulación a través de redes de tuberías. Este proceso es llamado conducción descendente para el concepto doméstico, comercial, o suministro de agua industrial.

La intervención en salud y bienestar público, conjuntamente con la importancia del agua como recurso natural, hace que el suministro sea un elemento importante en infraestructura urbana. Por ello es conveniente la estimación del nivel de eficiencia de los servicios con la meta de obtener el óptimo uso de los recursos disponibles, y el intento de garantizar un suministro adecuado que haga lo posible para asegurar y salvaguardar las condiciones sanitarias y el bienestar de los ciudadanos. Es conveniente comentar que la fase de distribución será descrita a fondo para el análisis de variables en el punto siguiente.

### **5.1 Selección de variables**

Una etapa fundamental en cualquier evaluación por la técnica DEA es la identificación correspondiente del conjunto de variables de entrada y el conjunto de variables de salida. Las entradas reflejan los recursos utilizados en el transcurso de obtener las salidas por las unidades evaluadas. Los factores ambientales que afectan la eficiencia de transformación de entrada y salidas controlables deberían representarse también en la evaluación. Las medidas de eficiencia reflejan el exceso, en caso de que, en las entradas cada unidad utiliza el nivel de salida dado y que obtienen las condiciones ambientales en que opera.

Con el fin de identificar las variables de entrada y salida adecuadas de la etapa modelada; distribución de agua con una escala de medición para la eficiencia con un intervalo de  $0% < \text{eficiencia} \leq 100\%$ , y para la productividad un valor de 1 significa ningún cambio en eficiencia, mientras que los valores superiores a 1 o menor de 1 significan un aumento o disminución, respectivamente.

El suministro de agua descrito en la figura 12 está conformado por tres etapas. La primera etapa concierne a la captación de agua de los depósitos o agujeros mientras que la segunda etapa consiste en el tratamiento del agua extraída para hacerla potable o utilizable en caso contrario y la tercera etapa se refiere a la distribución de agua que comienza su función con el agua procedente de las plantas de tratamiento y termina en el punto donde el agua es entregada a los clientes. La entrada de agua en el sistema de distribución es conocida como "Distribución de entrada" mientras que el agua que se

entrega al cliente es conocido como “Suministro de agua”. Las dos cantidades no son iguales debido a la pérdida importante de cantidades de agua mediante filtraciones en el sistema. Así, la función que se modelará es la de recibir agua desde el tratamiento de aguas y la transportada a los clientes. El agua es generalmente entregada por bombeo a alto puntos de almacenamiento (depósitos de agua) y luego por gravedad la reciben los clientes. Esto se hace por medio de la fuga en la red de distribución que requiere mantenimiento periódico.

Sobre la base natural de la función en la distribución de agua esbozada anteriormente y en observación al organigrama de CAAMTROH, el conjunto potencial de entradas y salidas en las Tabla 5 y 6 fue construido como se muestra a continuación.

Las variables pensadas para el análisis serán determinadas por fuera relativamente con el propósito de evitar elementos que interfieran con el concepto de eficiencia técnica [127].

**Entradas (insumos):** el proceso de producción del suministro de agua municipal será de utilidad sobre el almacenamiento de capital consignado a la red de tubería e instalación, sin denigrar la importancia del factor humano. En general el último es representado por el No. total de empleados en el organismo operador (entrada 1) y el No. de empleados dedicados al control de fugas (entrada 2), variables que serán incluidas en el análisis. En relación a los bienes de capital, ellos pueden ser definidos como elementos básicos: No. de captaciones (entrada 3), No. de micromedidores funcionando (entrada 4) y No. de macromedidores instalados en captaciones (entrada 5), Otros indicadores son: Costos de operación, mantenimiento y administración (entrada 6) e Inversión del periodo anual (entrada 7).

**Salidas (productos):** las variables de salidas a considerar, son las seleccionadas a continuación: No. de conexiones (salida 1), Vol. anual de agua potable suministrada (salida 2), No. de tomas registradas con servicio continuo (salida 3), No. de pruebas de calidad de agua (salida 4), No. de fugas ocurridas y atendidas (salida 5), Dinero facturado por venta de agua (salida 6) e Ingresos por venta de agua (salida 7). En el trabajo se revisaron, autores que usan otras variables tal como ingreso del agua facturada, pero Ashton [128] indica la desventaja de la diferencia en los precios del agua entre municipios. Que afectan la eficiencia de los servicios, por lo tanto en este análisis es rechazado.



Tabla 5. Variables de entrada

Clave	Variable de entrada	Descripción	Unidad de medida	Estudios que emplean la variable
X <sub>1</sub>	No. total de empleados en el organismo operador	Empleados que laboran en el organismo operador, incluyen empleados por honorarios, sindicalizados y temporales	<i>No. Empleados /1000 tomas</i>	Indicadores de gestión en organismos operadores de agua potable de México: Resultados generales [94] Efficiency measurement in Spanish local government: The case of municipal water services [134]
X <sub>2</sub>	No. de empleados dedicados al control de fugas	Empleados de las cuadrillas dedicadas a la reparación y control de fugas en redes de distribución, tomas domiciliarias, cajas de válvulas y tanques	<i>No. Empleados /1000 tomas</i>	Indicadores de gestión en organismos operadores de agua potable de México: Resultados generales [94]
X <sub>3</sub>	No. de captaciones	Se refiere a pozos, manantiales, ríos, presas, etc.) que se tienen para el abastecimiento de la ciudad y que son operados por cada organismo operador	<i>Pozos por municipio</i>	Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos operadores de agua potable en el país [135] Ejercicio anual de evaluación comparativa de desempeño [136] Measuring the technical efficiency of municipal water suppliers: the role of environmental factors [137]
X <sub>4</sub>	No. de micromedidores funcionando	Número de micromedidores instalados en los domicilios que se considera se encuentran funcionando en buen estado	-	Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos operadores de agua potable en el país [135] Ejercicio anual de evaluación comparativa de desempeño [136]
X <sub>5</sub>	No. de macromedidores instalados en captaciones	Número total de macromedidores existentes en los puntos de suministro de agua a la red y/o en las captaciones	-	Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos operadores de agua potable en el país [135] Ejercicio anual de evaluación comparativa de desempeño [136]
X <sub>6</sub>	Costos de operación, manto y admón.	Se constituye a partir de la siguiente fórmula: (costo total de mantenimiento/costo total de la producción de agua)+(costo total de personal/costo total de la producción de agua)+costos de la producción de agua	\$	Efficiency measurement in Australian local government: The case of new south Wales municipal water services [52] Efficiency measurement in Spanish local government: The case of municipal water services [134] Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos operadores de agua potable en el país [135] Measuring the technical efficiency of municipal water suppliers: the role of environmental factors [137]
X <sub>7</sub>	Inversión del período anual	Cantidad de dinero al año que invierte el organismo operador en infraestructura hidráulica, red de agua potable, tomas domiciliarias, plantas de tratamiento o potabilización	\$	Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos operadores de agua potable en el país [135]

Tabla 6. Variables de salida

Clave	Variable de salida	Descripción	Unidad de medida	Nombre del estudios que emplean la variable
Y <sub>1</sub>	No. de conexiones	Tomas registradas en el organismo operador (domésticas, comerciales, industriales y públicas)	Número	Efficiency measurement in Australian local government: The case of new south Wales municipal water services [52]
Y <sub>2</sub>	Vol. anual de agua potable suministrada	Suma de los volúmenes de agua registrada por los lecturistas en los medidores domiciliarios, consumos medidos a los usuarios comerciales e industriales, durante todo el año.	m <sup>3</sup>	Lack of influence of climate on present cost of water supply in the USA [138] Los indicadores de gestión en el ámbito municipal: implantación, evolución y tendencias [20] Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos operadores de agua potable en el país [135]
Y <sub>3</sub>	No. de tomas registradas con servicio continuo	Número de tomas que tienen servicio las 24 horas del día todo el año.	Número	Efficiency measurement in Spanish local government: The case of municipal water services [134] Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos Operadores de agua potable en el país [135] Measuring the technical efficiency of municipal water suppliers: the role of environmental factors [137]
Y <sub>4</sub>	No. de pruebas de calidad de agua	Número de pruebas realizadas al agua antes de ser suministrada a la red y que cumplen con la norma, se puede indicar las pruebas que se realizan y cada cuándo se llevan a cabo.	Número	Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos operadores de agua potable en el país [135]
Y <sub>5</sub>	No. de fugas ocurridas y atendidas	Indica el total de fugas reparadas en el año, tanto en redes de distribución como en tomas domiciliarias, cajas de válvulas y tanques de almacenamiento.	Número	Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos operadores de agua potable en el país [135]
Y <sub>6</sub>	Ingresos por venta de agua	Total del dinero recaudado por el organismo operador por concepto de venta de agua en un año.	\$	Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de organismos operadores de agua potable en el país [135]

## 6. Definición de la Muestra

### Consideraciones importantes a tomar en cuenta para elegir la muestra

- i) El número de unidades de decisión debe ser mucho mayor que el número de insumos sumados al número de productos. Si esto no sucede entonces todas las unidades de decisión estarán en la frontera y por lo tanto, todas pueden ser consideradas como 100% eficientes.

- ii) No introducir valores de cero en los insumo o en los productos. El modelo no puede ejecutarse porque no se puede hallar la solución a unas matrices con las cuales se calculan las eficiencias.
- iii) Verificar el marco teórico que justifica la asociación entre insumos y productos. Si esto no se hace, entonces se analizarán relaciones que no son reales.
- iv) Introducir variables relevantes, es decir, aquellas variables en las cuales se puede tomar alguna decisión.

El trabajo de tesis, tiene como fin identificar y promover acciones para la mejora de los sistemas de agua potable del país que permitan proveer un mejor servicio a los usuarios, garantizar la fiabilidad operativa, aumentar la rentabilidad de la empresa de agua y sobre todo ayudar a la conservación del recurso agua. Así como brindar una herramienta de evaluación que ayude a la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales.

El estudio define 22 organismos operadores de agua de un total de 78 ciudades del país identificadas en la figura 13. Las cuales han participado activamente en las evaluaciones desde el año 2005 proporcionadas por el IMTA en un estudio de indicadores de gestión del país [129].

Tabla 7. Organismos operadores seleccionados

No.	Estado	Comisión de agua potable	No.	Estado	Comisión de agua potable
1	Nuevo León	Monterrey IPC	12	Quintana Roo	Cozumel OPB
2	Baja California	Tecate CESPT	13	Coahuila	Saltillo AGSAL
3	Aguascalientes	Aguascalientes CCAPAMA	14	Baja California	Cd. Tijuana CESPT
4	México	Atlacomulco ODAPAS	15	México	Tlalnepantla de Baz OPDM
5	Veracruz	Córdoba HIDROSISTEMA	16	Zacatecas	Morelos, Vetagrande y Zac. JIAPAZ
6	Sinaloa	Culiacán JAPAC	17	Hidalgo	Tepeji del Río CAAMTROH
7	Sinaloa	Mazatlán JUMAPAM	18	Chihuahua	Cd. Juárez JMAS
8	Zacatecas	Cd. Fresnillo SIAPASF	19	Guanajuato	Salamanca CMAPAS
9	Puebla	Izucar de Matamoros SOAPAIM	20	Chiapas	Cd. Tapachula COPATAP
10	Baja California	Mexicali CESPM	21	Guanajuato	Irapuato JAPAMI
11	Querétaro	Querétaro CEA	22	Guanajuato	Cd. León SAPAL

Con estos organismos operadores se pretende cumplir con los objetivos de esta investigación, de tal manera que se muestren las eficiencias de cada uno de los organismos operadores respecto a los demás seleccionados.



Figura 13. Localización de los 78 Organismos Operadores participantes en la encuesta de evaluación de desempeño [129].

## 7. Validación de variables

Este punto tiene por objetivo presentar los resultados obtenidos de la correlación entre variables. También se muestra un análisis de información contenida en la matriz de datos de variables e identificando el número de variables originales y las variables que quedan al final del análisis de correlación.

Tabla 8. Contiene el nombre de las variables de entrada y clave utilizada en las tablas de correlación

Clave	Nombre de la Variable insumo
X <sub>1</sub>	No. total de empleados en el organismo operador
X <sub>2</sub>	No. de empleados dedicados al control de fugas
X <sub>3</sub>	No. de captaciones
X <sub>4</sub>	No. de micromedidores funcionando
X <sub>5</sub>	No. de macromedidores instalados en captaciones
X <sub>6</sub>	Costos de operación, mantenimiento y administración
X <sub>7</sub>	Inversión del período anual

Tabla 9. Contiene el nombre de las variables de salida y clave utilizada en las tablas de correlación

Clave	Nombre de la variables Productos
Y <sub>1</sub>	No. de conexiones
Y <sub>2</sub>	Vol. anual de agua potable suministrada
Y <sub>3</sub>	No. de tomas registradas con servicio continuo
Y <sub>4</sub>	No. de pruebas de calidad de agua
Y <sub>5</sub>	No. de fugas ocurridas y reparadas
Y <sub>6</sub>	Ingresos por venta de agua

Se puede observar que si el número de variables aumenta, también aumenta el tamaño de la muestra (Número de organismos operadores). Esto se genera porque el grado de libertad se eleva por lo cual se generan más variables con alto grado de correlación.

#### a. Matrices de correlación por insumo

En las tablas 10, 11 y 12 se puede observar como el Insumo X<sub>1</sub> correlaciona fuertemente con Insumo X<sub>2</sub> y X<sub>4</sub>. Esto debido a que el número de empleados incrementa cuando aumenta el número de micromedidores y el número de fugas producidas y atendidas. Al igual pasa con X<sub>5</sub> pues tiene fuerte correlación con X<sub>3</sub>. Es decir el número de macromedidores va aumentar cuando el número de captaciones incrementé ya que estos insumos son proporcionales.

Tabla 10. Fuerza de correlación entre insumos para el año 2004

insumos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
X <sub>1</sub>	<b>1.00</b>	-	-	-	-	-	-
X <sub>2</sub>	0.94	<b>1.00</b>	-	-	-	-	-
X <sub>3</sub>	0.42	0.36	<b>1.00</b>	-	-	-	-
X <sub>4</sub>	0.97	0.95	0.41	<b>1.00</b>	-	-	-
X <sub>5</sub>	0.48	0.37	0.91	0.48	<b>1.00</b>	-	-
X <sub>6</sub>	0.98	0.89	0.48	0.95	0.56	<b>1.00</b>	-
X <sub>7</sub>	0.74	0.71	0.19	0.76	0.19	0.69	<b>1.00</b>

Tabla 11. Fuerza de correlación entre insumos para el año 2005

Insumos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
X <sub>1</sub>	<b>1.00</b>	-	-	-	-	-	-
X <sub>2</sub>	0.94	<b>1.00</b>	-	-	-	-	-
X <sub>3</sub>	0.41	0.34	<b>1.00</b>	-	-	-	-
X <sub>4</sub>	0.98	0.93	0.42	<b>1.00</b>	-	-	-
X <sub>5</sub>	0.48	0.36	0.91	0.50	<b>1.00</b>	-	-
X <sub>6</sub>	0.99	0.90	0.45	0.97	0.53	<b>1.00</b>	-
X <sub>7</sub>	0.92	0.91	0.21	0.93	0.28	0.89	<b>1.00</b>

Tabla 12. Fuerza de correlación entre insumos para el año 2006

Insumos	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
X <sub>1</sub>	<b>1.00</b>	-	-	-	-	-	-
X <sub>2</sub>	0.96	<b>1.00</b>	-	-	-	-	-
X <sub>3</sub>	0.42	0.34	<b>1.00</b>	-	-	-	-
X <sub>4</sub>	0.98	0.95	0.46	<b>1.00</b>	-	-	-
X <sub>5</sub>	0.46	0.37	0.97	0.49	<b>1.00</b>	-	-
X <sub>6</sub>	0.98	0.95	0.44	0.97	0.47	<b>1.00</b>	-
X <sub>7</sub>	0.93	0.95	0.27	0.93	0.35	0.93	<b>1.00</b>

**b. Matrices de correlación por producto**

En cuanto a las tablas 13, 14 y 15 de productos se puede observar como el producto Y<sub>3</sub> correlaciona fuertemente con los productos Y<sub>1</sub> y Y<sub>6</sub>. Es decir, que conforme el número de tomas con servicio continuo aumenta, también aumentará el número de conexiones generando un incremento en los ingresos por venta de agua.

Tabla 13. Fuerza de correlación entre productos para el año 2004

productos	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>
Y <sub>1</sub>	<b>1.00</b>	-	-	-	-	-
Y <sub>2</sub>	0.95	<b>1.00</b>	-	-	-	-
Y <sub>3</sub>	1.00	0.96	<b>1.00</b>	-	-	-
Y <sub>4</sub>	0.85	0.80	0.84	<b>1.00</b>	-	-
Y <sub>5</sub>	0.90	0.84	0.89	0.74	<b>1.00</b>	-
Y <sub>6</sub>	0.96	0.91	0.96	0.79	0.87	<b>1.00</b>

Tabla 14. Fuerza de correlación entre productos para el año 2005

productos	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>
Y <sub>1</sub>	<b>1.00</b>	-	-	-	-	-
Y <sub>2</sub>	0.95	<b>1.00</b>	-	-	-	-
Y <sub>3</sub>	0.99	0.95	<b>1.00</b>	-	-	-
Y <sub>4</sub>	0.51	0.49	0.59	<b>1.00</b>	-	-
Y <sub>5</sub>	0.87	0.82	0.85	0.34	<b>1.00</b>	-
Y <sub>6</sub>	0.95	0.90	0.94	0.46	0.85	<b>1.00</b>

Tabla 15. Fuerza de correlación entre productos para el año 2006

productos	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>
Y <sub>1</sub>	<b>1.00</b>	-	-	-	-	-
Y <sub>2</sub>	0.95	<b>1.00</b>	-	-	-	-
Y <sub>3</sub>	1.00	0.95	<b>1.00</b>	-	-	-
Y <sub>4</sub>	0.84	0.80	0.84	<b>1.00</b>	-	-
Y <sub>5</sub>	0.93	0.88	0.92	0.90	<b>1.00</b>	-
Y <sub>6</sub>	0.96	0.92	0.96	0.79	0.90	<b>1.00</b>

**c. Concentrado de variables con fuerte correlación**

Seleccionando las variables con fuerte correlación de las tablas anteriores de insumos 2004-2005-2006 se puede ver como el comportamiento de la desviación estándar tiende a 0 por lo que las variables que se eliminarán serán las que tengan mayor inclinación a 0, esto para los 3 años.

Tabla 16. Variables de entrada con una fuerte correlación para todos los periodos

Par	Par de variables entrada	Correlación por año			Media	Desviación estándar
		2004	2005	2006		
X <sub>2</sub> -X <sub>1</sub>	No. de empleados dedicados al control de fugas - No. total de empleados en el organismo operador	0.94	0.94	0.96	0.95	0.011547
X <sub>4</sub> -X <sub>1</sub>	No. de micromedidores funcionando - No. total de empleados en el organismo operador	0.97	0.98	0.98	0.98	0.005774
X <sub>4</sub> -X <sub>2</sub>	No. de micromedidores funcionando - No. de empleados dedicados al control de fugas	0.95	0.93	0.95	0.94	0.011547
X <sub>5</sub> -X <sub>3</sub>	No. de macromedidores instalados en captaciones - No. de captaciones	0.91	0.91	0.97	0.93	0.034641
X <sub>6</sub> -X <sub>1</sub>	Costos de operación, mantenimiento y administración - No. total de empleados en el organismo operador	0.98	0.98	0.98	0.98	0.000000
X <sub>6</sub> -X <sub>2</sub>	Costos de operación, mantenimiento y administración - No. de empleados dedicados al control de fugas	0.89	0.9	0.95	0.91	0.032146
X <sub>6</sub> -X <sub>4</sub>	Costos de operación, mantenimiento y administración - No. de micromedidores funcionando	0.95	0.97	0.97	0.96	0.011547
X <sub>7</sub> -X <sub>2</sub>	Inversión del período anual - No. de empleados dedicados al control de fugas	0.71	0.91	0.95	0.86	0.128582

Al igual en la tabla 17 se observan fuertes correlaciones de variables de productos y se ve como su desviación estándar tiende a cero. Esto es para los tres años.

Tabla 17. Concentrado de variables de salida con una fuerte correlación para el periodo 2004-2006

Par	Par de variables salida	Correlación			Media	Desviación Estándar
		2004	2005	2006		
$Y_2-Y_1$	Vol. anual de agua potable suministrada - No. de conexiones	0.95	0.95	0.95	0.95	0.000000
$Y_3-Y_1$	No. de tomas registradas con servicio continuo - No. de conexiones	1.00	0.99	1.00	1.00	0.005774
$Y_3-Y_2$	No. de tomas registradas con servicio continuo - Vol. anual de agua potable suministrad	0.96	0.95	0.95	0.95	0.005774
$Y_6-Y_1$	Ingresos por venta de agua - No. de conexiones	0.96	0.95	0.96	0.96	0.005774
$Y_6-Y_3$	Ingresos por venta de agua No. de tomas registradas con servicio continuo	0.96	0.94	0.96	0.95	0.011547

De acuerdo con el análisis estadístico anterior se deduce que las variables que integran el modelo son las mostradas en la tabla 18.

Tabla 18. Variables que integrarán el modelo para el cálculo de la eficiencia y productividad

Variables de Entrada	Variables de Salida
$X_1$ : No. total de empleados en el organismo operador	$Y_1$ : No. de conexiones
$X_3$ : No. de captaciones	$Y_2$ : Vol. anual de agua potable suministrada
$X_6$ : Costos de operación, mantenimiento y admón.	$Y_4$ : No. de pruebas de calidad de agua
$X_7$ : Inversión del período anual	$Y_5$ : No. de fugas ocurridas y reparadas
	$Y_6$ : Ingresos por venta de agua

### 3.2 Determinación de la Productividad Total de los Factores

En esta sección se realizan tres análisis: 1) con rendimientos constante a escala, 2) con rendimientos variables a escala y 3) con Productividad Total de los Factores. Se identificarán los organismos con mayor productividad, los organismos menos eficientes técnicamente y se identificarán las mejoras potenciales expuestas en anexos.



## 8. Eficiencia Técnica utilizando el software Frontier Analyst 4.0

### *1. Rendimientos Constantes a Escala (RCE) por año*

La tabla 19 muestra los resultados correspondientes al año 2004 para el modelo CCR y se observa que la eficiencia técnica es independiente de la orientación del modelo; es decir, se obtienen los mismos resultados para el modelo orientado a insumos y productos debido a que la función de producción presenta rendimientos a escala. El análisis arroja que de los 22 organismos operadores, 15 de ellos son 100% eficientes y 7 presentan ineficiencia técnica. Revelando como el organismo operador con menor ineficiencia al estado de Guanajuato, Municipio Irapuato; JAPAMI (Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Irapuato) con un 66%. Teniendo a los organismos de Aguascalientes CCAPAMA, Cd. Fresnillo SIAPASF, Cd. Tapachula y Cd. Tijuana CESPT como pares cercanos que contribuyen a su mejora potencial en la función de producción, indicando que los insumos (No. total de empleados en el organismo operador, No. de captaciones y Costos de operación, mantenimiento y administración) deberían disminuir un 34% y la inversión del período anual debería disminuir un 71.23% respecto al nivel de salidas utilizadas, esto significa que el organismo operador JAPAMI, esta gastando más de lo que entrega de agua suministrada pues esta teniendo costos por arriba del volumen suministrado a la población, es decir con una inversión de \$26474.22 debería suministrar 17322.27 m<sup>3</sup> de agua a la población, aumentando el volumen anual suministrado a un 129.74% y disminuyendo la inversión en un 71.23%; Sin embargo no es así ya que presenta la eficiencia más baja del año 2004.

Tabla19. Muestra la eficiencia con RCE orientado a insumos y productos 2004

No.	Periodo2004	RCE orientado a insumos		RCE orientado a productos	
	DMU's	Rango	Eficiencia (%)	Rango	Eficiencia (%)
1	Aguascalientes CCAPAMA	1	100	1	100
2	Atacomulco ODAPAS	1	100	1	100
3	Cd. Fresnillo SIAPASF	1	100	1	100
4	Cd. Juárez JMAS	1	100	1	100
5	Cd. León SAPAL	1	100	1	100
6	Cd. Tapachula COAPATAP	1	100	1	100
7	Cd. Tijuana CESPT	1	100	1	100
8	Córdoba HIDROSISTEMA	1	100	1	100
9	Cozumel OPB	1	100	1	100
10	Culiacán JAPAC	1	100	1	100
11	Irapuato JAPAMI	22	66	22	66
12	Izucar de Matamoros SOAPAIM	20	80.22	20	80.22
13	Mazatlán JUMAPAM	21	78.77	21	78.77
14	Mexicali CESPM	1	100	1	100
15	Monterrey IPC	1	100	1	100
16	Morelos, Vetag y Zac. JIAPA	18	91.77	18	91.77
17	Querétaro CEA	1	100	1	100
18	Salamanca CMAPAS	17	93.03	17	93.03
19	Saltillo AGSAL	1	100	1	100
20	Tecate CESPTE	16	98.05	16	98.05
21	Tepeji del Río CAAMTROH	1	100	1	100
22	Tlalnepantla de Baz OPDM	19	82.41	19	82.41
	<b>Promedio</b>	-	<b>95.01</b>	-	<b>95.01</b>

La tabla 20 expone los resultados concernientes al año 2005 para el modelo CCR en la cual se observa el organismo operador que presenta mayor ineficiencia es el Zacateca, JIAPA con un 61.7%. Se observa que el organismo puede mejorar sustancialmente si disminuye sus insumos en un 38%, esto significa que el volumen anual de agua suministrada mejorará en un 25.27%, esto incrementará el ingreso por venta de agua en un 1.64% por lo que aumentará el no. de pruebas de calidad en un 119% y ocasionará que incrementen en un 114% de fugas ocurridas y atendidas manteniendo el numero de conexiones fija.

Tabla 20. Muestra la eficiencia con RCE a insumos y productos 2005

No.	Periodo 2005	RCE orientado a insumos		RCE orientado a productos	
	DMU's	Rango	Eficiencia (%)	Rango	Eficiencia (%)
1	Aguascalientes CCAPAMA	1	100	1	100
2	Atzacmulco ODAPAS	1	100	1	100
3	Cd. Fresnillo SIAPASF	1	100	1	100
4	Cd. Juárez JMAS	1	100	1	100
5	Cd. León SAPAL	1	100	1	100
6	Cd. Tapachula COAPATAP	1	100	1	100
7	Cd. Tijuana CESPT	1	100	1	100
8	Córdoba HIDROSISTEMA	1	100	1	100
9	Cozumel OPB	18	91.83	18	91.83
10	Culiacán JAPAC	1	100	1	100
11	Irapuato JAPAMI	21	65.99	21	65.99
12	Izucar de Matamoros SOAPAIM	16	95.02	16	95.02
13	Mazatlán JUMAPAM	15	95.10	15	95.1
14	Mexicali CESPМ	1	100	1	100
15	Monterrey IPC	1	100	1	100
16	Morelos, Vetagra y Zac. JIAPA	22	61.7	22	61.7
17	Querétaro CEA	1	100	1	100
18	Salamanca CMAPAS	19	86.49	19	86.49
19	Saltillo AGSAL	1	100	1	100
20	Tecate CESPTE	17	93.52	17	93.52
21	Tepeji del Río CAAMTROH	1	100	1	100
22	Tlalnepantla de Baz, OPDM	20	78.23	20	78.23
	<b>Promedio</b>	-	<b>93.99</b>	-	<b>93.99</b>

La tabla 21 presenta los resultados del modelo CCR del 2006 donde el organismo con mayor ineficiencia es nuevamente Zacatecas, JIAPA ligeramente mejorado por un puntaje del 67.19%; Sin embargo, se observa que para mejorar la eficiencia en el organismo los insumos de costos, inversión del período anual y el no. total de empleados deberán disminuir un 32% y el no. de captaciones bajar en un 53%. Con esta disminución de insumos el volumen de agua aumentará en un 55% lo que ocasionará que el no. de pruebas de calidad incremente el 24%, el no. de fugas ocurridas y reparadas en un 21% ocasionando que se eleven los ingresos por venta en un 33% manteniendo de igual manera el número de conexiones.

Tabla 21. Muestra la eficiencia con RCE Orientado a insumos y productos 2006

No.	Periodo 2006	RCE orientado a insumos		RCE orientado a productos	
	DMU's	Rango	Eficiencia (%)	Rango	Eficiencia (%)
1	Aguascalientes CCAPAMA	1	100	1	100
2	Atacomulco ODAPAS	1	100	1	100
3	Cd. Fresnillo SIAPASF	1	100	1	100
4	Cd. Juárez JMAS	1	100	1	100
5	Cd. León SAPAL	1	100	1	100
6	Cd. Tapachula COAPATAP	1	100	1	100
7	Cd. Tijuana CESPT	1	100	1	100
8	Córdoba HIDROSISTEMA	17	86.02	17	86.02
9	Cozumel OPB	16	87.45	16	87.45
10	Culiacán JAPAC	1	100	1	100
11	Irapuato JAPAMI	21	68.61	21	68.61
12	Izucar de Matamoros SOAPAIM	20	74.80	20	74.80
13	Mazatlán JUMAPAM	19	79.12	19	79.12
14	Mexicali CESPM	1	100	1	100
15	Monterrey IPC	1	100	1	100
16	Morelos, Vetagrande y Zac. JIAPA	22	67.19	22	67.19
17	Querétaro CEA	1	100	1	100
18	Salamanca, CMAPAS	15	90.91	15	90.91
19	Saltillo AGSAL	1	100	1	100
20	Tecate CESPT	14	99.22	14	99.22
21	Tepeji del Río CAAMTROH	1	100	1	100
22	Tlalnepantla de Baz, OPDM	18	81.79	18	81.79
	<b>Promedio</b>	<b>-</b>	<b>92.51</b>		<b>92.51</b>

La figura 14 y 15 muestran tendencias de los cálculos con retornos constantes a escala orientado a insumos y productos, en ellas se puede observar la similitud de sus tendencias en eficiencias e ineficiencia, esto se debe a que tienen una sola escala óptima de producción.

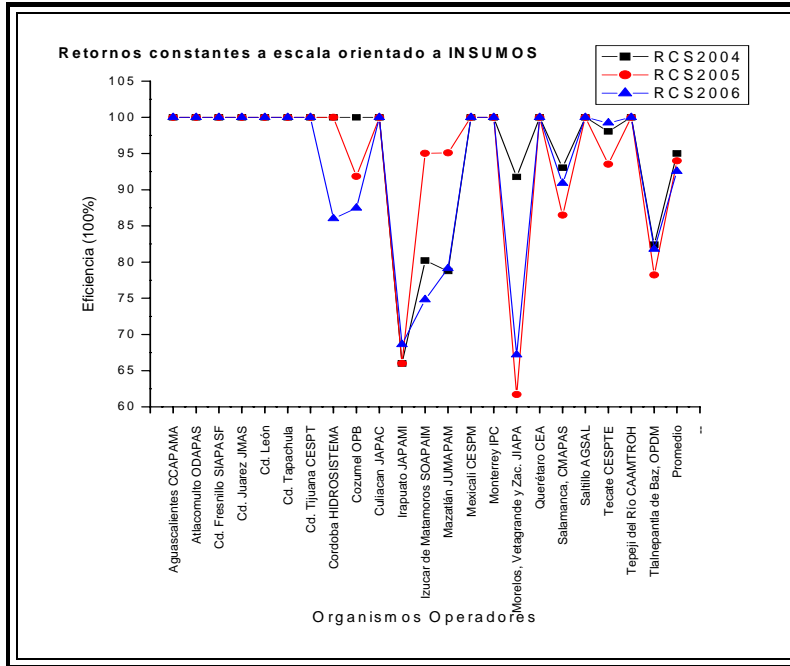


Figura 14 Retornos constantes a escala orientado a insumos

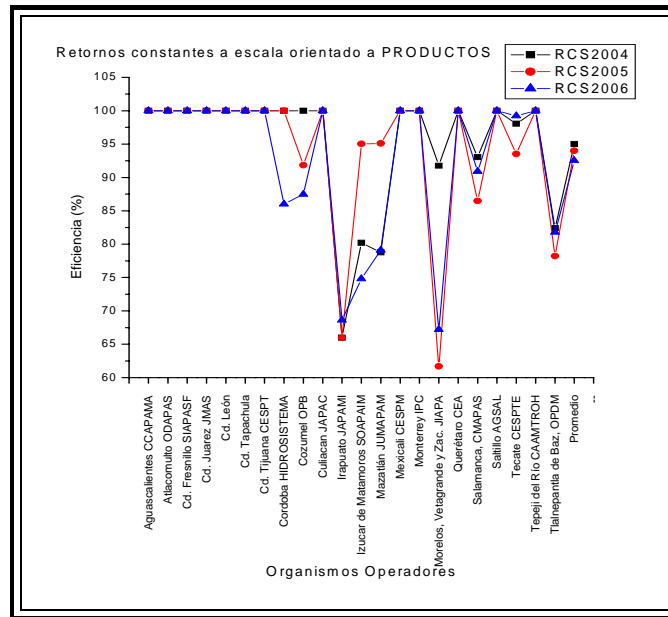


Figura 15 Retornos constantes a escala orientado a productos

## ***II. Rendimientos Variables a Escala (RVE) por año***

La tabla 22 muestra un modelo BCC orientado a insumos para el 2004 donde se observa que el organismo con mayor ineficiencia es el Irapuato-JAPAMI con un 74.02%, manteniendo el no. de conexiones se observa que al disminuir en un 25% los costos y por tanto el no. de empleados traerá beneficios en los ingresos generados aumentándolo en un 103%, lo cual ocasionará que el volumen suministrado a la población incremente en un 225% y la consecuencia de esto es que la inversión anual disminuya en un 44.27% es decir se generará más con menos recursos utilizados.

Mientras que el modelo BCC orientado a productos también presenta al organismo Irapuato-JAPAMI como el menos eficiente con un 78.8%. El modelo muestra que los costos y no. de captaciones fijas los ingresos por venta de agua aumentan en un 152%, disminuye la inversión en el periodo anual en un 13% y el no. de empleados en un 12%; Sin embargo se observa que el volumen anual de agua suministrada aumenta en un 285% incrementando el no. de conexiones en un 26%.

Tabla 22. Muestra la eficiencia con RVE orientado a insumos y productos 2004

No.	Periodo 2004	RVE orientado a insumos		RVE orientado a productos	
	DMU's	Rango	Eficiencia (%)	Rango	Eficiencia (%)
1	Aguascalientes CCAPAMA	1	100	1	100
2	Atzacmulco ODAPAS	1	100	1	100
3	Cd. Fresnillo SIAPASF	1	100	1	100
4	Cd. Juárez JMAS	1	100	1	100
5	Cd. León SAPAL	1	100	1	100
6	Cd. Tapachula COAPATAP	1	100	1	100
7	Cd. Tijuana CESPT	1	100	1	100
8	Córdoba HIDROSISTEMA	1	100	1	100
9	Cozumel OPB	1	100	1	100
10	Culiacán JAPAC	1	100	1	100
11	Irapuato JAPAMI	22	74.02	22	78.80
12	Izucar de Matamoros SOAPAIM	1	100	1	100
13	Mazatlán JUMAPAM	21	87.25	21	90.49
14	Mexicali CESPAM	1	100	1	100
15	Monterrey IPC	1	100	1	100
16	Morelos, Vetagra. y Zac. JIAPA	20	96.57	20	97.08
17	Querétaro CEA	1	100	1	100
18	Salamanca, CMAPAS	1	100	1	100
19	Saltillo AGSAL	1	100	1	100
20	Tecate CESPTTE	1	100	1	100
21	Tepeji del Río CAAMTROH	1	100	1	100
22	Tlalnepantla de Baz, OPDM	1	100	1	100
	<b>Promedio</b>	-	<b>98.08</b>	-	<b>98.47</b>

La tabla 23 muestra los resultados del modelo BCC para el 2005, donde la orientación del modelo es importante debido a un ligero aumento. En el modelo BCC orientado a insumos se observa que los insumos de costos, inversión anual y no. de captaciones sufren un disminución del 24% y el no. total de empleados disminuye un 43%. Con esto se resalta que por lo tanto los ingresos por venta de agua incrementarán un 47% debido a que el volumen anual de agua suministrada esta aumentando un 32% respecto a lo que entregaba originalmente dejando estandarizadas las salidas de no. de pruebas de calidad de agua y no. de conexiones. Ahora bien el modelo BCC orientado a productos muestra una tendencia decreciente de escala ya que las salidas obtenidas pueden maximizarse solamente si se disminuye en un 36% el no. total de empleados y los

además insumos se quedan estáticos. Es decir con esto se incrementarán los ingresos por venta de agua en un 50% y el volumen de agua suministrada aumentará en un 31%.

Tabla 23. Muestra la eficiencia con RVE orientado a insumos y productos 2005

No.	PERIODO 2005	RVE orientado a insumos		RVE orientado a productos	
	DMU's	Rango	Eficiencia (%)	Rango	Eficiencia (%)
1	Aguascalientes CCAPAMA	1	100	1	100
2	Atlacomulco ODAPAS	1	100	1	100
3	Cd. Fresnillo SIAPASF	1	100	1	100
4	Cd. Juárez JMAS	1	100	1	100
5	Cd. León SAPAL	1	100	1	100
6	Cd. Tapachula COAPATAP	1	100	1	100
7	Cd. Tijuana CESPT	1	100	1	100
8	Córdoba HIDROSISTEMA	1	100	1	100
9	Cozumel OPB	19	94.69	19	97.49
10	Culiacán JAPAC	1	100	1	100
11	Irapuato JAPAMI	21	80.26	21	84.12
12	Izucar de Matamoros SOAPAIM	1	100	1	100
13	Mazatlán JUMAPAM	1	100	1	100
14	Mexicali CESPM	1	100	1	100
15	Monterrey IPC	1	100	1	100
16	Morelos, Vetagrande y Zac. JIAPA	22	75.47	22	81.29
17	Querétaro CEA	1	100	1	100
18	Salamanca, CMAPAS	20	91.67	20	94.02
19	Saltillo AGSAL	1	100	1	100
20	Tecate CESPTTE	1	100	1	100
21	Tepeji del Río CAAMTROH	1	100	1	100
22	Tlalnepantla de Baz, OPDM	1	100	1	100
	Promedio	-	97.37		98.04



La tabla 24 presenta las mejoras potenciales de modelo BCC orientado a insumos para el año 2006, siendo Irapuato-JAPAMI el organismo operador que presenta menor eficiencia del 79.62%, donde la minimización de insumos son; en costos, inversión y no. total de empleados en un 20%, y el no. captaciones disminuye en un 61%, es decir con un menor numero de captaciones se puede suministrar el 158% mas de volumen a la población generando un incremento del 68% manteniendo el no. de conexiones y fugas ocurridas y reparadas; Sin embarco en la orientación a productos este mismo organismo presenta ineficiencia creciente del 84%. Su mejora en la maximización de productos esta afectando directamente a los ingresos por venta de agua en un 105% y a la vez aumentando el volumen de agua suministrada en un 199% disminuyendo el no. de captaciones en un 54% de lo que actualmente utilizando.

Tabla 24. Muestra la eficiencia con RVE orientado a insumos y productos 2006

No.	Periodo 2006	RVE orientado a insumos		RVE orientado a productos	
	DMU's	Rango	Eficiencia (%)	Rango	Eficiencia (%)
1	Aguascalientes CCAPAMA	1	100	1	100
2	Atlacomulco ODAPAS	1	100	1	100
3	Cd. Fresnillo SIAPASF	1	100	1	100
4	Cd. Juárez JMAS	1	100	1	100
5	Cd. León SAPAL	1	100	1	100
6	Cd. Tapachula COPATAP	1	100	1	100
7	Cd. Tijuana CESPT	1	100	1	100
8	Córdoba HIDROSISTEMA	21	88.09	21	86.64
9	Cozumel OPB	16	99.86	16	99.93
10	Culiacán JAPAC	1	100	1	100
11	Irapuato JAPAMI	22	79.62	22	84.01
12	Izucar de Matamoros SOAPAIM	1	100	1	100
13	Mazatlán JUMAPAM	19	92.99	19	94.49
1	Mexicali CESPM	1	100	1	100
15	Monterrey IPC	1	100	1	100
16	Morelos, Vetagrande y Zac. JIAPA	20	88.2	20	92.74
17	Querétaro CEA	1	100	1	100
18	Salamanca, CMAPAS	18	95.92	18	97.41
19	Saltillo AGSAL	1	100	1	100
20	Tecate CESPTE	1	100	1	100
21	Tepeji del Río CAAMTROH	1	100	1	100
22	Tlalnepantla de Baz, OPDM	17	98.19	17	98.45
	<b>Promedio</b>	-	<b>97.40</b>	-	<b>97.89</b>

Las figuras 16 y 17 muestran retornos variables a escala orientados a insumos y productos para los 3 periodos, en ellas se observa una tendencia similar en eficiencias esto se debe a la falta de información (insumo-producto) de los organismos operadores por lo que impidió el ingreso de más unidades al estudio para que se visualizarán mejor las tendencias de ineficiencia.

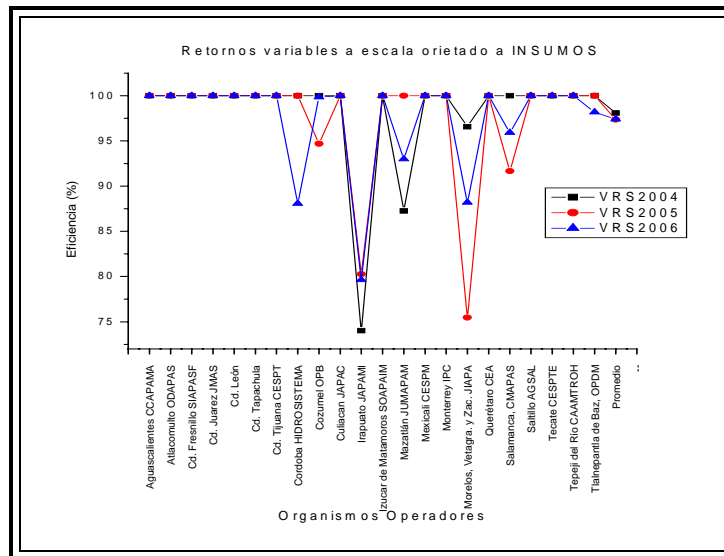


Figura 16. Retornos variables a escala orientado a insumos

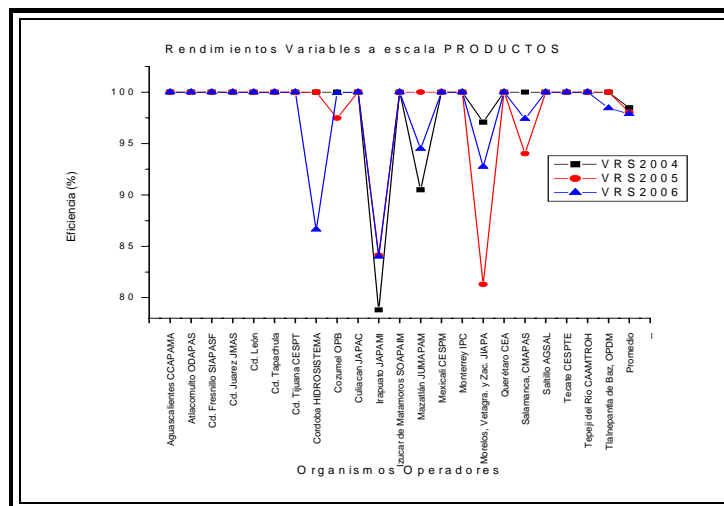


Figura 17. Retornos variables a escala orientado a productos

## **8.1 Índice de Productividad de Malmquist utilizando software Frontier Analyst Versión 4.0**

La determinación del índice de productividad de Malmquist se llevo a cabo utilizando el software Frontier Analyst versión 4.0. Se selecciono este software debido a la comodidad para introducir los insumos y productos, análisis de resultados, calculo de correlaciones y ahorro en tiempo de calculo.

La tabla 25 presenta los resultados del calculo de la PTF (Índice de Malmquist), este índice permite estimar las variaciones de las niveles de productividad en los periodos  $t$  respecto al  $t-1$  y en el  $t+1$  respecto al  $t$ . Los resultados obtenidos destacan que el crecimiento en la PTF ha sido ligeramente mayor en el periodo  $t$  respecto al periodo  $t-1$  es decir, se ha tenido mayor inversión tecnológica en el 2005 que en 2006.

Se observa que en el periodo  $t$  el organismo que presenta mejora en su desempeño es Cd. Tapachula-COAPATAP con un puntaje del 1.5999 dejando ver que el punto de mejora es debido a cambios en la tecnología empleada y no por la eficiencia mostrada. Ahora los resultados de la PTF para el periodo  $t+1$  muestran al organismo Mexicali-CESPM como el organismo con mayor productividad, y también es debido a cambios en su tecnología; sin embargo su eficiencia se mantiene constante; Pero también, otro caso a analizar es cuando el cambio tecnológico aumenta, y se presenta disminución en su eficiencia presentando deterioro en su desempeño, tal como lo muestra el organismo Mazatlán-JAMAPAM que presenta una disminución de productividad de .8398, una eficiencia del 0.8320 y un cambio tecnológico de 1.0094; Sin embargo el organismo de Tepeji del Río-CAAMTROH muestra una eficiencia de 1.000 y un cambio tecnológico del 0.7611 provocando una disminución en la productividad aun que sea 100% eficiente ya que no hay inversión tecnológica que pueda mejorar su desempeño.

Tabla 25. Índice de Malmquist (IM) utilizando software Frontier Analyst 4.0

DMU's	Periodo (t) 2005			Periodo (t+1) 2006		
	IM = CET*CT	Cambio en la eficiencia técnica (CEF)	Cambio Técnico (CT)	IM = CET*CT	Cambio en la eficiencia técnica (CEF)	Cambio Técnico (CT)
Aguascalientes CCAPAMA	0.9931	1.0000	0.9931	1.0380	1.0000	1.0380
Atzacomulco ODAPAS	0.8354	1.0000	0.8354	1.0245	1.0000	1.0245
Cd. Fresnillo SIAPASF	1.3225	1.0000	1.3225	0.8055	1.0000	0.8055
Cd. Juárez JMAS	0.9535	1.0000	0.9535	0.8840	1.0000	0.884
Cd. León SAPAL	1.0407	1.0000	1.0407	1.0300	1.0000	1.0300
Cd. Tapachula COAPATAP	1.5999	1.0000	1.5999	0.9086	1.0000	0.9086
Cd. Tijuana CESPT	0.9356	1.0000	0.9356	0.9925	1.0000	0.9925
Córdoba HIDROSISTEMA	0.6819	1.0000	0.6819	0.6017	0.8602	0.6995
Cozumel OPB	0.9465	0.9183	1.0307	0.9559	0.9523	1.0038
Culiacán JAPAC	0.9805	1.0000	0.9805	0.8750	1.0000	0.875
Irapuato JAPAMI	1.0153	0.9998	1.0155	1.0017	1.0397	0.9635
Izucar de Matamoros SOAPAIM	1.2196	1.1845	1.0296	0.7959	0.7872	1.0111
Mazatlán JUMAPAM	1.1986	1.2073	0.9928	0.8398	0.8320	1.0094
Mexicali CESPMP	0.9297	1.0000	0.9297	1.2780	1.0000	1.278
Monterrey IPC	1.0022	1.0000	1.0022	1.0689	1.0000	1.0689
Morelos, Vetagrande y Zac. JIAPA	0.8040	0.6723	1.1959	1.0486	1.0889	0.963
Querétaro CEA	1.0143	1.0000	1.0143	0.8551	1.0000	0.8551
Salamanca CMAPAS	0.8642	0.9297	0.9296	0.9847	1.0511	0.9368
Saltillo AGSAL	1.1343	1.0000	1.1343	0.9872	1.0000	0.9872
Tecate CESPTTE	1.0307	0.9539	1.0805	1.0567	1.0609	0.9961
Tepeji del Río CAAMTROH	0.8081	1.0000	0.8081	0.7611	1.0000	0.7611
Tlalnepantla de Baz OPDM	1.0048	0.9492	1.0586	1.0362	1.0455	0.9911
<b>Media</b>	<b>0.9980</b>	<b>0.987</b>	<b>1.011</b>	<b>0.9360</b>	<b>0.9840</b>	<b>0.9510</b>

La metodología empleada permite determinar los cambios en la productividad total de los factores, a través de índices Malquist. *Un valor del índice Malquist, o de cualquiera de sus componentes, menor que uno señala deterioro en el desempeño, entre dos periodos, mientras que un valor superior a la unidad indica una mejora respecto del período precedente.* Esto deja a relucir en la figura 18 que para el periodo (t+1) 2006 la productividad presenta deterioro en su desempeño respecto al 2005.

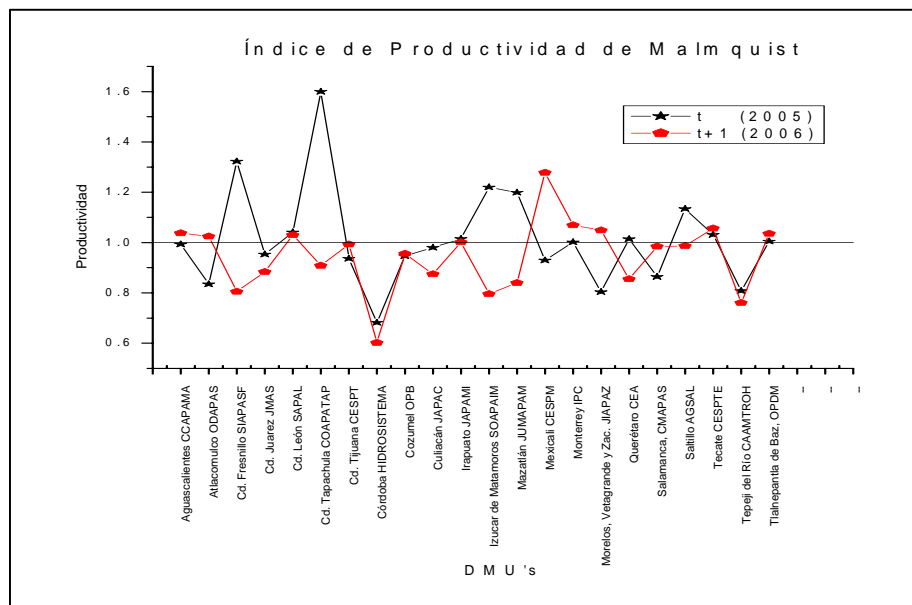


Figura 18 Productividad Total de los Factores periodo t y t+1

# CAPÍTULO 4



## *Conclusiones*

Los resultados obtenidos en este trabajo de tesis permiten sugerir el Análisis Envolvente de Datos (DEA) como un método alternativo para evaluar la eficiencia en los sistemas de distribución de agua potable en México. Además, al cuantificar las eficiencias e ineficiencias de cada organismo operador de agua potable, permite mediante la descomposición de la eficiencia intervenir trazando lineamientos para mejorar su eficiencia.

También se ha analizado la evolución de la eficiencia técnica con el objetivo de disponer de una mayor información sobre el comportamiento en la economía gubernamental para los años 2004-2006. Para ello se construyeron Índices de Malmquist que permiten descomponer el crecimiento de la productividad. Los resultados muestran que la aportación del cambio técnico y la eficiencia es diferente entre los periodos reforzando la importancia de una inversión en la estructura productiva que implique en el crecimiento del organismo operador.

Un aspecto de interés en el estudio de la eficiencia es la posibilidad de que exista un proceso de cambio tecnológico que contribuya a explicar el crecimiento de los organismos operadores municipales. La evidencia obtenida muestra que los organismos menos eficientes se han beneficiado de la difusión e inversión de la tecnología. Por eso es de vital importancia plantear que la política de inversión en la infraestructura desarrollada sea adecuada para tener nuevas técnicas que desplacen la frontera de posibilidades de producción.

Estos resultados se pueden agrupar en dos grandes temas: la necesidad de contar con mayor información relativa a la tarea que desarrollan los organismos operadores de agua potable y en la constatación de que en promedio en este sector municipal de agua se estarían gastando mayores recursos que los necesarios conforme a los servicios entregados.

Esto es reflejo en parte de que no todos los municipios poseen un tamaño óptimo a escala para ser eficientes en la producción de los servicios que entregan a la ciudadanía, en tanto por otro lado las autoridades locales no cuentan con las atribuciones para racionalizar el uso de los recursos en pos de un desempeño más eficiente.

En consecuencia, es prioritario entregar mayor autonomía a las autoridades locales y dotarlas de las herramientas con las que puedan desarrollar una gestión más eficiente. No obstante, esta mayor autonomía debe tener necesariamente su contraparte en la entrega de toda la información que permita a la ciudadanía evaluar la gestión que desempeñan las autoridades que ellos han elegido.





Tabla 27 Datos de los 22 organismos operadores de agua en México para el año 2005

No.	Estado	Comisión	Variables de Entrada							Variables de Salida					
			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>
1	Nuevo León	Monterrey IPC	3742	577	123	897931	123	1824602	1884272	898286	236059	898286	242791	43784	1533043
2	Baja California	Tecate CESPTE	164	21	26	23025	26	76827	11477	25904	7116	23489	965	713	79113
3	Aguascalientes	Aguascalientes CCAPAMA	628	90	174	159464	174	242554	242554	210865	49754	177917	8210	24672	389149
4	México	Atzacmulco ODAPAS	169	15	10	165	10	7217	7828	12478	4781	1256	19	745	13391
5	Veracruz	Córdoba HIDROSISTEMA	231	62	4	32452	1	39053	671	40873	9650	129000	2460	62	32691
6	Sinaloa	Culiacán JAPAC	796	193	49	180686	25	318670	30669	182178	5528	182178	17833	23030	186069
7		Mazatlán JUMAPAM	716	85	39	111886	33	173365	126114	124153	29935	124153	76	13717	34717
8	Zacatecas	Cd. Fresnillo SIAPASF	125	10	15	9125	8	24513	3546	31548	6315	18452	6897	3541	20549
9	Puebla	Matamoros SOAPAIM	51	6	4	607	4	11042	1794	11500	83	200	8	307	7159
10	Baja California	Mexicali CESPAM	1081	62	3	234690	3	577408	530970	237131	80229	237131	33	11416	393553
11	Querétaro	Querétaro CEA	710	17	78	171581	78	394830	239	170166	35760	126671	137	18962	371381
12	Quintana Roo	Cozumel OPB	370	105	102	26054	8	76995	103656	56055	27310	56055	48	3454	21379
13	Coahuila	Saltillo AGSAL	383	75	86	164315	46	233597	32298	164315	26	134336	12070	46	180
14	Baja California	Cd. Tijuana CESPT	1688	307	6	399342	6	609745	826500	425552	85630	425552	7367	18116	969684
15	México	Tlalnepantla de Baz, OPDM	1240	142	57	122650	50	576699	134317	139831	17678	125847	622	16007	473539
16	Zacatecas	Morelos JIAPAZ	499	70	52	58474	10	118069	53577	79444	12025	36524	6450	3524	68637
17	Hidalgo	Tepeji del Río CAAMTROH	72	11	10	11143	10	13333	286	11244	3666	2453	365	1728	10970
18	Chihuahua	Cd. Juárez JMAS	1326	123	184	283654	178	675205	267	356571	128633	356571	346	22686	459533
19	Guanajuato	Salamanca, CMAPAS	215	39	25	23107	25	33966	14127	38401	6835	36021	77	3746	42263
20	Chiapas	Cd. Tapachula COAPATAP	269	40	1	41000	1	31240	5	45385	20498	45385	365	1612	128997
21	Guanajuato	Irapuato JAPAMI	449	201	64	26510	60	114093	51539	79488	10513	53806	628	8215	86527
22	Guanajuato	Cd. León SAPAL	948	173	115	299519	115	534585	334573	299519	49287	245306	769	8854	425311

Tabla 28 Datos de los 22 organismos operadores de agua en México para el año 2006

No.	Estado	Comisión	Variables de Entrada							Variables de Salida					
			X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>
1	Nuevo León	Monterrey IPC	3905	585	117	931365	117	2087833	1697936	931724	245296	931724	209692	85908	1723811
2	Baja California	Tecate CESPTE	174	20	26	24274	26	90652	14188	27284	7357	24593	965	522	91821
3	Aguascalientes	Aguascalientes CCAPAMA	623	90	176	177163	176	269489	269489	219755	51475	186792	7711	24270	445867
4	México	Atzacomulco ODAPAS	160	15	10	215	10	6918	7645	12723	4781	1266	28	648	16710
5	Veracruz	Córdoba HIDROSISTEMA	244	62	3	34227	1	34931	1179	41945	9737	131	272	62	28662
6	Sinaloa	Culiacán JAPAC	858	139	49	180686	21	345217	76132	191645	5691	191645	10199	25082	203899
7		Mazatlán JUMAPAM	740	93	36	117567	33	202897	163197	129468	29058	129468	72	11216	134899
8	Zacatecas	Cd. Fresnillo SIAPASF	134	10	16	8542	8	26459	6879	31724	7068	31724	7854	3651	22549
9	Puebla	Matamoros SOAPAIM	68	6	4	965	4	13297	1574	11491	110	200	8	295	7138
10	Baja California	Mexicali CESP	1095	62	3	250622	3	545165	234921	252965	83438	252965	33	12324	434807
11	Querétaro	Querétaro CEA	732	19	83	185075	83	5276	373	180302	35434	124259	157	18579	401038
12	Quintana Roo	Cozumel OPB	406	45	18	33275	8	82593	55390	59300	26749	59300	48	4386	21379
13	Coahuila	Saltillo AGSAL	383	75	86	172134	46	281945	36878	172134	27	147170	11609	46	194
14	Baja California	Cd. Tijuana CESPT	1712	307	7	403614	6	694404	538986	449615	89137	449615	7577	17240	1048927
15	México	Tlalnepantla de Baz, OPDM	1235	147	59	123789	50	466756	134228	141639	18567	127602	622	16799	474484
16	Zacatecas	Morelos. JIAPAZ	499	70	52	62522	10	126579	14852	83642	12311	51021	5575	2903	70337
17	Hidalgo	Tepeji del Río CAAMTROH	68	6	10	11169	10	11743	131	11433	3666	2503	365	800	11717
18	Chihuahua	Cd. Juárez JMAS	1334	123	203	291981	163	730374	678	372483	132833	372483	450	20718	523287
19	Guanajuato	Salamanca, CMAPAS	215	29	27	27827	27	39114	13979	39689	6805	36992	56	4073	51163
20	Chiapas	Cd. Tapachula COAPATAP	269	20	1	42629	1	35000	6	52108	20498	52108	365	1723	111317
21	Guanajuato	Irapuato JAPAMI	451	195	67	30	61	119762	44121	81748	7281	44016	743	7163	81357
22	Guanajuato	Cd. León SAPAL	960	173	123	314091	123	541350	547641	314091	48860	256495	872	8964	470676

Tabla 29 Modelo CCR-2004 mejoras potenciales del organismo  
operador Irapuato-JAPAMI

<b>Variable</b>	<b>Actual</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Mejora</b>
Costos de operación, manto y admón	98666.00	65118.98	-34.00%
Ingresos por venta de agua	75338.00	75338.00	0.00 %
Inversión del período anual	92027.00	26474.22	-71.23 %
No. de captaciones	59.00	38.94	-34.00 %
No. de conexiones	77003.00	77003.00	0.00 %
No. de fugas ocurridas y reparadas	7561.00	8929.88	18.10 %
No. total de empleados en el organismo	461.00	304.26	-34.00 %
No. de pruebas de calidad de agua	602.00	5643.51	837.46 %
Vol. anual de agua potable suministrada	7540.00	17322.27	129.74 %

Tabla 30 Modelo CCR-2005 mejoras potenciales del organismo  
operador Zacatecas-JIAPA

<b>Variable</b>	<b>Actual</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Mejora</b>
Costos de operación, manto y admón	118069.00	72849.18	-38.30 %
Ingresos por venta de agua	68637.00	69762.14	1.64 %
Inversión del período anual	53577.00	32658.11	-39.04 %
No. De captaciones	52.00	32.08	-38.30 %
No. De conexiones	79444.00	79444.00	0.00 %
No. De fugas ocurridas y reparadas	3524.00	7550.43	114.26 %
No. Total de empleados en el organismo	499.00	307.89	-38.30 %
No. de pruebas de calidad de agua	6450.00	14178.86	119.83 %
Vol. anual de agua potable suministrada	12025.00	15064.31	25.27 %

Tabla 31 Modelo CCR-2006 mejoras potenciales del organismo  
operador Zacatecas-JIAPA

<b>Variable</b>	<b>Actual</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Mejora</b>
Costos de operación, manto y admón	126579.00	85043.04	-32.81 %
Ingresos por venta de agua	70337.00	93818.76	33.38 %
Inversión del período anual	14852.00	9978.43	-32.81 %
No. De captaciones	52.00	23.95	-53.94 %
No. De conexiones	83642.00	83642.00	0.00 %
No. De fugas ocurridas y reparadas	2903.00	3516.26	21.13 %
No. Total de empleados en el organismo	499.00	335.26	-32.81 %
No. de pruebas de calidad de agua	5575.00	6945.80	24.59 %
Vol. anual de agua potable suministrada	12311.00	19091.37	55.08 %

Tabla 32 Modelo BCC-2004 orientado a insumos  
mejoras potenciales del organismo Irapuato-JAPAMI

<b>Variable</b>	<b>Actual</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Mejora</b>
Costos de operación, manto y admón	98666.00	73027.89	-25.98 %
Ingresos por venta de agua	75338.00	153126.13	103.25 %
Inversión del período anual	92027.00	51290.12	-44.27 %
No. De captaciones	59.00	41.54	-29.59 %
No. De conexiones	77003.00	77003.00	0.00 %
No. De fugas ocurridas y reparadas	7561.00	7699.36	1.83 %
No. Total de empleados en el organismo	461.00	341.21	-25.98 %
No. de pruebas de calidad de agua	602.00	2451.09	307.16 %
Vol. anual de agua potable suministrada	7540.00	24566.71	225.82 %

Tabla 33 Modelo BCC-2004 orientado a insumos  
mejoras potenciales del organismo Irapuato-JAPAMI

<b>Variable</b>	<b>Actual</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Mejora</b>
Costos de operación, manto y admón	98666.00	73027.89	-25.98 %
Ingresos por venta de agua	75338.00	153126.13	103.25 %
Inversión del período anual	92027.00	51290.12	-44.27 %
No. De captaciones	59.00	41.54	-29.59 %
No. De conexiones	77003.00	77003.00	0.00 %
No. De fugas ocurridas y reparadas	7561.00	7699.36	1.83 %
No. Total de empleados en el organismo	461.00	341.21	-25.98 %
No. de pruebas de calidad de agua	602.00	2451.09	307.16 %
Vol. anual de agua potable suministrada	7540.00	24566.71	225.82 %

Tabla 34 Modelo BCC-2004 orientado a productos  
mejoras potenciales del organismo Irapuato-JAPAMI

<b>Variable</b>	<b>Actual</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Mejora</b>
Costos de operación, manto y admón	98666.00	98666.00	0.00 %
Ingresos por venta de agua	75338.00	190344.82	152.65 %
Inversión del período anual	92027.00	79657.02	-13.44 %
No. De captaciones	59.00	59.00	0.00 %
No. De conexiones	77003.00	97723.11	26.91 %
No. De fugas ocurridas y reparadas	7561.00	10509.52	39.00 %
No. Total de empleados en el organismo	461.00	402.64	-12.66 %
No. de pruebas de calidad de agua	602.00	3243.29	438.75 %
Vol. anual de agua potable suministrada	7540.00	29077.46	285.64 %

Tabla 35 Modelo BCC-2005 orientado a insumos  
mejoras potenciales del organismo Zacatecas-JIAPA

Variable	Actual	Objetivo	mejora
Costos de operación, manto y admón	118069.00	89109.18	-24.53 %
Ingresos por venta de agua	68637.00	101383.43	47.71 %
Inversión del período anual	53577.00	40435.70	-24.53 %
No. De captaciones	52.00	39.25	-24.53 %
No. De conexiones	79444.00	79444.00	0.00 %
No. De fugas ocurridas y reparadas	3524.00	4904.22	39.17 %
No. Total de empleados en el organismo	499.00	282.14	-43.46 %
No. de pruebas de calidad de agua	6450.00	6450.00	0.00 %
Vol. anual de agua potable suministrada	12025.00	15920.32	32.39 %

Tabla 36 Modelo BCC-2005 orientado a productos  
mejoras potenciales del organismo Zacatecas-JIAPA

Variable	Actual	Objetivo	Mejora
Costos de operación, manto y admón	118069.00	118069.00	0.00 %
Ingresos por venta de agua	68637.00	103553.87	50.87 %
Inversión del período anual	53577.00	53577.00	0.00 %
No. De captaciones	52.00	52.00	0.00 %
No. De conexiones	79444.00	97733.53	23.02 %
No. De fugas ocurridas y reparadas	3524.00	5401.01	53.26 %
No. Total de empleados en el organismo	499.00	315.69	-36.74 %
No. de pruebas de calidad de agua	6450.00	7934.91	23.02 %
Vol. anual de agua potable suministrada	12025.00	15772.59	31.17 %

Tabla 37 Modelo BCC-2006 orientado a insumos  
mejoras potenciales del organismo Irapuato-JAPAMI

Variable	Actual	Objetivo	Mejora
Costos de operación, manto y admón	119762.00	95349.18	-20.38 %
Ingresos por venta de agua	81357.00	137084.48	68.50 %
Inversión del período anual	44121.00	35127.18	-20.38 %
No. De captaciones	67.00	25.52	-61.91 %
No. De conexiones	81748.00	81748.00	0.00 %
No. De fugas ocurridas y reparadas	7163.00	7163.00	0.00 %
No. Total de empleados en el organismo	451.00	354.08	-21.49 %
No. de pruebas de calidad de agua	743.00	3672.24	394.25 %
Vol. anual de agua potable suministrada	7281.00	18836.59	158.71 %

Tabla 38 Modelo BCC-2006 orientado a productos  
mejoras potenciales del organismo Irapuato-JAPAMI

Variable	Actual	Objetivo	Mejora
Costos de operación, manto y admón	119762.00	119762.00	0.00 %
Ingresos por venta de agua	81357.00	167379.93	105.74 %
Inversión del período anual	44121.00	44121.00	0.00 %
No. De captaciones	67.00	30.20	-54.93 %
No. De conexiones	81748.00	97302.94	19.03 %
No. De fugas ocurridas y reparadas	7163.00	8525.97	19.03 %
No. Total de empleados en el organismo	451.00	418.59	-7.19 %
No. de pruebas de calidad de agua	743.00	2954.49	297.64 %
Vol. anual de agua potable suministrada	7281.00	21806.64	199.50 %

## Bibliografía

1. R.A. Española, en *Diccionario de la Lengua Española*, 22ed. 2001.
2. M.J. Farrell, *The measurement of productive efficiency*. J. Roy. Statistical Society, 1957. **120**(3): p. 253.
3. T.J. Coelli, et al., *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, ed. 2. Vol. 37. 2005, Boston: Kluwer Academic. 350.
4. K.I. Carlaw y R.G. Lipsey, *Productivity, technology and economic growth: What is the relationship?* J. Econ. Surveys, 2003. **17**(3): p. 457.
5. R.G. Lipsey y K.I. Carlaw, *What Does Total Factor Productivity Measure?* International Productivity Monitor 2000. **1**: p. 31.
6. S. Basu y J.G. Fernald, *Returns to Scale in U.S. Production: Estimates and Implications*. J. Polit. Economy, 1997. **105**(2): p. 249.
7. C.R. Hulten, *Total Factor Productivity: A Short Biography*. National Bureau of Economic Research, Inc., 2000(7471): p. 1.
8. D.W. Jorgenson y Z. Griliches, *The Explanation of Productivity Change*. Rev. Econ. Stud., 1967. **34**(3): p. 249.
9. E.C. Prescott, *Needed: a theory of total factor productivity*. Int. Econ. Rev., 1998. **39**(3): p. 525.
10. A. Weersink, C.G. Turvey, y A. Godah, *Decomposition measures of technical efficiency for ontario dairy farms*. Can. J. Agr. Econ., 1990. **38**: p. 439.
11. R. Färe y C.A.K. Lovell, *Measuring the technical efficiency of production*. J. Econ. Theory, 1978. **19**(1): p. 150.
12. A. Charnes, W.W. Cooper, y E. Rhodes., *Measurement the efficiency of decision making units*. European Journal of Operational Research, 1978. **2**: p. 429.
13. V.C. Serrano, *Eficiencia y productividad de la industria textil europea desde la perspectiva del análisis envolvente de datos*, en *Economía Aplicada*. 2003, Universidad de Valencia: Valencia.
14. J.M. Pastor, *Productividad, eficiencia y cambio técnico en los bancos y cajas de ahorro españolas: Un análisis frontera no paramétrico*, en *Análisis Económico*. 1995, Instituto Valencian: Valencia.
15. D.J. Aingner y S.F. Chu, *On Estimating the Industry Production Function*. Amer. Econ. Rev. , 1968. **58**(4): p. 826.
16. D. Deprins, L. Simar, y H. Tulkens, *Measuring Labor-Efficiency in Post Offices*", in M. Marchand, P. Pestieau, H. Tulkens (eds.), *The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurement*. Elsevier Science Publishers B. V., 1984: p. 243.
17. H.O. Fried, C.A.K. Lovell, y S.S. Schmidt, *The measurement of productive efficiency*. Ilustrada ed. 1993, Toronto: Oxford University Press, Inc. 426.
18. W. Meeusen y J.V. Broeck, *Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error*. Int. Econ. Rev. , 1977. **18**(2): p. 435.
19. N. Bosch, F. Pedraja, y A. Suárez, *Medición de la eficiencia en la provisión de servicios públicos locales*, en *Economía y Gestión de las Administraciones Públicas*, . 1995: Las Palmas de Gran Canaria. p. 149.
20. J.M.P. Lorenzo y I.M.G. Sánchez, *Los indicadores de gestión en el ámbito municipal: implantación, evolución y tendencias*. Iberoamericana de contabilidad de gestión, 2004(4): p. 149.
21. P.V. Eeckaut, H. Tulkens, y M.A. Jamar, *Cost efficiency in belgian Municipalities*, en *The Measuring of Productive Efficiency*, I. Oxford University Press, Editor. 1993: Toronto. p. 300.
22. B. Borger, et al., *Explaining Differences in Productive Efficiency: An Application to Belgian Municipalities*. Public Choice 1994. **80**(3-4): p. 339.

23. B. Borger y K. Kerstens, *Cost efficiency of Belgian local governments: A comparative analysis of FDH, DEA, and econometric approaches* Reg. Sci. Urban Econ. , 1996. **26**(2): p. 145.
24. B. Borger y K. Kerstens, *Radial and Nonradial Measurement of Technical Efficiency: An Empirical Illustration for Belgian Local Government Using an FDH Reference Technology*. J. Productiv. Anal. , 1996. **7**(1): p. 41.
25. A.D. Athanassopoulos, *Decision Support for Target-Based Resource Allocation of Public Services in Multiunit and Multilevel Systems*. Institute for Operations Research and the Management Sciences, 1998. **44**(2): p. 173.
26. M.C.S. Sousa y F.S. Ramos, *Measuring Public Spending Efficiency in Brazilian Municipalities: A Nonparametric Approach*. Data Envelopment Analysis in the Service Sector Fabler Edition Wissenschaft, 1999.
27. H.O. Fried y J.D. Klein, *Efficiencias in United States metropolitan areas*, en *Contributions efficiency and productivity measurement*. 1999, Public provision and performance.
28. A.A. Tairou, *Does Inefficiency Explain Financial Vulnerability Of French Municipalities?*, en *Auditing and Management in Public Sector Reforms*, I.C.O. Accounting, Editor. 2000, EIASM: Zaragoza.
29. P.A.N. Hughes y M.E. Edwards, *Leviathan vs. Lilliputian: A Data Envelopment Analysis of Government Efficiency*. J. Reg. Sci. , 2000. **40**(4): p. 649.
30. A.C. Worthington, *Cost Efficiency in Australian Local Government: A Comparative Analysis of Mathematical Programming and Econometric Approaches*. Financial Accounting and Management, 2000. **16**(3): p. 201.
31. A.M. Prieto y J.L. Zofio, *Evaluating Effectiveness in Public Provision of Infrastructure and Equipment: The Case of Spanish Municipalities*. J. Productiv. Anal. , 2001. **15**(1): p. 41.
32. M.T.B. Coll, J.M.V. Bargués, y D.P. Jiménez, *Eficiencia y calidad en la gestión de las administraciones locales*, en *X Congreso de Asepuc*. 2000a: Santiago de Compostela.
33. M.T.B. Coll, J.M.V. Bargués, y D.P. Jiménez, *Efficiency and Quality in Local Government Management. The Case of Spanish Local Authorities*, D.d. Treball, Editor. 2002b, Universitat Autònoma de Barcelona: Barcelona.
34. M.T.B. Coll, *Análisis de la situación financiera y la eficiencia en las administraciones locales*, D.d. Tribally, Editor. 2002, Instituto de Contabilidad y Auditoría de Cuentas: Madrid.
35. V.M. Giménez y D. Prior, *Control y eficiencia frontera en los municipios de Cataluña: Análisis dinámico de las desviaciones en costes totales*, en *XVI Jornadas de Economía Industrial*. 2000: Madrid.
36. V.M. Giménez y D. Prior, *Evaluación frontera de la eficiencia en costes. Aplicación a los municipios de Cataluña*. Pap. Econ. Española 2003(95): p. 113.
37. R.B. Parks, *Technical Efficiency of Public Decision Making Units*. European Journal of Operational Research, 1983. **12**: p. 543.
38. R.C. Nyhan y L.L. Martin, *Assessing the Performance of Municipal Police Services Using Data Envelopment Analysis: An Exploratory Study*. Rev. Econ. Stud., 1999. **31**(1): p. 18.
39. M. Norman y B. Stoker, *Data Envelopment Analysis: The Assessment of Performance*. 1991, Chichester.: John Wiley & Sons Inc.
40. J. Cubbin, S. Domberger, y S. Meadowcroft, *Competitive Tendering and Refuse Collection: Identifying the Sources of Efficiency Gains*. Fisc. Stud., 1987. **8**(3): p. 49.
41. D.A. Haas, F.H. Murphy, y R.A. Lancioni, *Managing Reverse Logistics Channels with Data Envelopment Analysis*. Transp. J. , 2003. **42**(3): p. 59.
42. J.F. Nolan, P.C. Ritchie, y J.R. Rowcroft, *Measuring Efficiency in the Public Sector Using Nonparametric Frontier Estimators: A Study of Transit Agencies in the USA*. Appl. Econ. , 2001. **33**(7): p. 913.

43. J.F. Nolan, P.C. Ritchie, y J.R. Rowcrofts, *Identifying and Measuring Public Policy Goals: ISTEA and the US Bus Transit Industry*. J. Econ. Behav. Organ. , 2002. **48**(3): p. 291.
44. P.A. Viton, *Technical Efficiency in Multi-Mode Bus Transit: A Production Frontier Analysis*. Transp. Res.: Part A: Pol. Practice 1997. **31**(1): p. 23.
45. P.A. Viton, *Changes in Multi-Mode Bus Transit Efficiency, 1988-1992*. Transportation, 1998. **25**(1): p. 1.
46. M.G. Karlaftis, *A DEA Approach for Evaluating the Efficiency and Effectiveness of Urban Transit Systems*. European Journal of Operational Research, 2004. **152**(2): p. 354.
47. L. Drake y R. Simper, *Productivity Estimation and the Size-Efficiency Relationship in English and Welsh Police Forces. An Application of Data Envelopment Analysis and Multiple Discriminate Analysis*. Int. Rev. Law Econ. , 2000. **20**(1): p. 53.
48. L. Drake y R. Simper, *The Economic Evaluation of Policing Activity: An Application of a Hybrid Methodology*. Int. Rev. Law Econ. , 2001. **12**(3): p. 173.
49. E. Thanassoulis, *Assessing Police Forces in England and Wales Using Data Envelopment Analysis*. European Journal of Operational Research, 1995. **87**(3): p. 641.
50. E. Thanassoulis, *The Use of Data Envelopment Analysis in the Regulation of Water Utilities: Water Distribution*. European Journal of Operational Research, 2000a. **126**(2): p. 436.
51. E. Thanassoulis, *DEA and its Use in the Regulation of Water Companies*. European Journal of Operational Research, 2000b. **127**(1): p. 1.
52. K. Woodbury y B. Dolle, *Efficiency Measurement in Australian Local Government: The Case of New South Wales Municipal Water Services*. Review of Policy Research, 2004. **21**(5): p. 615.
53. E. Thanassoulis, *Comparative Performance Measurement in Regulation: The Case of English and Welsh Sewerage Services*. Journal of the Operational Research Society, 2002. **53**(3): p. 292.
54. J. Cowie y D. Asenova, *Organisation Form, Scale Effects and Efficiency in the British Bus Industry*. Transportation, 1999. **26**(3): p. 231.
55. K. Obeng, G.A. Azam, y R. Sakano, *Modelling Economic Inefficiency caused by Public Transit Subsidies*. 1997, London: Praeger.
56. R. Carrington, et al., *Performance Measurement in Government Services Provision: The Case of Police Services in New South Wales*. J. Productiv. Anal. , 1997. **8**(4): p. 415.
57. W.S.A.O. Australia, *Benchmarking the economic performance of Australian Urban Water Authorities*. 1995, WSAA: Melbourne.
58. A.C. Whortington y B.E. Dollery, *An Empirical Survey of Frontier Efficiency Measurement Techniques in Local Government*. Local Government Studies, 2000. **26**(2): p. 23.
59. A.C. Whortington y B.E. Dollery, *Measuring Efficiency in Local Government: An Analysis of New South Wales Municipalities Domestic Waste Management Function*. Financial Accounting and Management, 2005. **29**(2): p. 232.
60. A. Cuenca, *Eficiencia técnica en los servicios de protección contra incendios*. Revista de economía Aplicada, 1994. **2**(5): p. 87.
61. M.A.V. García y M.A.P. Muñiz, *Regulación de precios: Evaluación dinámica de la eficiencia del suministro de agua*, en XI Encuentro de Economía Pública. 2004.
62. R. Vilardell, *L'eficiencia en l'actuació de les administracions municipals: una avaluació del servei de recollida de residus sòlids urbans*. Revista Econòmica de Catalunya, 1989(11): p. 19.
63. R. Bosch, C. Pedraja, y P. Suárez, *Measuring the Efficiency of Spanish Municipal Refuse Collection Services*. Working Papers in Economics, 1999. **26**(3): p. 71.



64. R. Bosch, C. Pedraja, y P. Suárez, *The Efficiency of Refuse Collection Services in Spanish Municipalities: Do Non- Controllable Variables Matter?* Working Papers in Economics, 2001. **4**.
65. F.J.D. Rivero, *Redes neuronales y eficiencia. Aplicación al servicio de recogida de basuras*, en *XI Encuentro de Economía Pública*. 2004: Barcelona.
66. S. Lozano, G. Villa, y B. Adenso-Díaz, *Centralised Target Setting for Regional Recycling Operations Using DEA*. Omega, 2004. **32**(2): p. 101.
67. C.C. Patier, *Eficiencia del sector del autobús de la Comunidad de Madrid: evaluación mediante la técnica envolvente de datos*. Hacienda Pública Española, 1997. **143**: p. 3.
68. V. Pina y L. Torres, *Analysis of the Efficiency of Local Government Services Delivering. An Application to Public Urban Transport*. Transp. Res.: Part A: Pol. Practice 2001. **35**(10): p. 929.
69. H. Jaldell, *Essays on the Performance of Fire and Rescue Services*, en *Economics*. 2002, School of Economics and Commercial Law Göteborg. p. 116.
70. K. Aida, et al., *Evaluating Water Supply Services in Japan with RAM: A Range-Adjusted Measure of Inefficiency*. Omega, 1998. **26**(2): p. 207.
71. K.P. Chang y P.H. Kao, *The Relative Efficiency of Public Versus Private Municipal Bus Firms: An Application of Data Envelopment Analysis*. J. Productiv. Anal. , 1992. **3**(1): p. 67.
72. X. Chu, G.J. Fielding, y B.W. Lamar, *Measuring Transit Performance Using Data Envelopment Analysis*. Transp. Res.: Part A: Pol. Practice 1992. **26**(3): p. 223.
73. D.K. Lambert, D. Dichev, y K. Raffiee, *Ownership and Sources of Inefficiency in the Provision of Water Services*. Water Resources Research, 1993. **29**(6): p. 1573.
74. V. Distexhe, *L'Efficacité Productive des Services D'Enlèvement des Immondices en Wallonie*. Cahiers économiques de Bruxelles, 1993. **137**: p. 119.
75. H. Tulkens, *On FDH Efficiency Analysis: Some Methodological Issues and Applications to Retail Banking, Courts, and Urban Transit*. J. Productiv. Anal. , 1993. **4**(1): p. 183.
76. K. Kerstens, *Technical Efficiency Measurement and Explanation of French Urban Transit Companies*. Transp. Res.: Part A: Pol. Practice 1996. **30**(6): p. 431.
77. B. Dervaux, K. Kerstens, y P.V. Eeckaut, *Radial and Nonradial Static Efficiency Decompositions: A Focus on Congestion Measurement*. Transp. Res.: Part B: Methodological 1998. **32**(5): p. 299.
78. A. Ancarani. *Evolution of Water Firms Performance in Providing Water Services in Sicily*. en *Auditing and Management in Public Sector Reforms*. 2000. Saragoca: EIASM International Conference on Accounting.
79. A. Ancarani y G. Capaldo, *Management of Standardized Public Services: A Comprehensive Approach to Quality Assessment*. Managing Service Quality, 2001. **11**(5): p. 331.
80. R. Levaggi, *Parametric and Non-Parametric Approach to Efficiency: The Case of Urban Transport in Italy*. Stud. Econ. , 1994. **49**(53): p. 67.
81. L. Andwandter y T. Ozuna, *Can Public Sector Reforms Improve the Efficiency of Public Water Utilities?* Environ. Devel. Econ. , 2002. **7**(4): p. 687.
82. A.J.F. Gaiola. *Efficiency Evaluation in The Urban Solid Waste Systems of Portugal Using Data Envelopment Analysis*. en *Symposium at a Glance*. 2002. Moscow.
83. H.C. Tupper y M. Resende, *Efficiency and Regulatory Issues in the Brazilian Water and Sewage Sector: An Empirical Study*. Utilities Policy, 2004. **12**(1): p. 29.
84. P. Burgat y C. Jeanrenaud, *Measure de l'efficacité productive*, en *Working Paper IRER*. 1990, Universitat de Neuchatel.
85. J. Sarkis, *A Comparative Analysis Of DEA as a Discrete Alternative Multiple Criteria Decision Tool*. European Journal of Operational Research, 2000. **123**(3): p. 543.
86. L. Jenkins y M. Anderson, *A Multivariate Statistical Approach to Reducing the Number Variables in Data Envelopment Analysis*. European Journal of Operational Research, 2003. **147**(1): p. 51.

87. T. Holvad, et al., *Measuring Inefficiency in the Norwegian Bus Industry Using Multi-Direction Efficiency analysis*. Transportation, 2004. **31**(3): p. 349.
88. A.K. Boadme, *The Technical Efficiency of Canadian Urban Transit Systems*. Transp. Res.: Part E: Logist. Transp. Rev. , 2004. **40**(5): p. 401.
89. J.S. Castillo, *Sistemas de aseguramiento de calidad iso 9000 En la gestión integral del agua*. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales; AIDIS. Ciencia y conciencia compromiso nacional con el medio ambiente: memorias técnicas, 2000: p. 1.
90. V. Bourguett y L. Ochoa, *Reducción Integral de Pérdidas de Agua Potable*. IMTA, 2001.
91. M.O.B. Rodriguez, *Demanda, uso eficiente y preservación del agua*. Encyclopedia of Water, 2002: p. 1.
92. H.C. Consejo Estatal de Ecología. <http://www.coedehgo.gob.mx>. 2003.
93. CONAGUA, *La gestión del agua en México. Avances y retos*. 2006, México, Distrito Federal.
94. P.M.H. Rodríguez, P.C. Mejía, y V. Bourguett, *Indicadores de gestión en organismos operadores de agua potable de México; resultados generales*. 2005, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: Jiutepec, Morelos.
95. E. Galindo y J.P. Viqueira, *La centralización municipal del manejo del agua potable frente al manejo comunitario: efectos en las instituciones comunitarias*. 2004: Veracruz.
96. D. Barkin y D. Klooster, *Estrategias de la Gestión del Agua Urbana en México: Un análisis de su evolución y las limitaciones del debate para su privatización*. 2005, Universidad de Guadalajara: Guadalajara.
97. D. Barkin, *Las contradicciones de la gestión del agua urbana en México*, IMTA, Editor. 2006, Colegio de posgraduados: Jiutepec, Morelos. p. 44.
98. S.Renzetti y D. Dupont, *Measuring the Technical Efficiency of Municipal Water Suppliers: the Role of Environmental Factors*. Working Papers, 2008: p. 24.
99. T.J. Coelli, *A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis Computer Program*, en *CEPA Working Paper*, D.o.E. University of New England, Editor. 1996: Australia.
100. A. Charnes, et al., *A developmental study of Data Envelopment Analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the US Air Force*. Annals of Operation Research 1985. **2**: p. 95.
101. J.K. Sengupta, *Efficiency measurement in non-market systems through Data Envelopment Analysis*. International Journal of Systems Science, 1987. **18**(12): p. 2279.
102. A. Charnes, W.W. Cooper, y E. Rhodes, *Evaluating program and managerial efficiency: An application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through*. Management Science, 1981. **27**(6): p. 668.
103. G. Debreu, *The coefficient of resource utilization*. Econometrica, 1951. **19**(3): p. 273.
104. R. Färe, *Efficiency and the production function*. J. Econ. (MVEA), 1975. **35**(3): p. 317.
105. G.D. Ferrier, *Ownership type, property rights and relative efficiency*, en *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*, K. Academic, Editor. 1994: Boston.
106. A.D. Athanassopoulos, *Assessing the comparative spatial disadvantage (CSD) of regions in the European Union using non-radial Data Envelopment Analysis methods*. European Journal of Operational Research, 1996. **94**(3): p. 439.
107. Y. Chen, *The relative productive efficiency of Township-Village-Enterprises in Mainland China*. Mainland China Studies, 2001. **44**(8): p. 23.
108. R. Färe, S. Grosskopf, y C.A.K. Lovell, *Production Frontiers*. Cambridge University Press. 1994, London.
109. A. Charnes, et al., *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*, ed. K. Academic. 1995, Boston: Springer.

110. D.L. Retzlaff-Roberts y R.C. Morey, *A goal-programming method of stochastic allocative Data Envelopment Analysis*. European Journal of Operational Research, 1993. **71**(3): p. 379.
111. J. Mahajan, *A data envelopment analytic model for assessing the relative efficiency of the selling functions*. European Journal of Operational Research 1991. **53**(2): p. 189.
112. R.D. Banker, V.M. Gadh, y W.L. Gorr, *A Monte Carlo comparison of two production frontier estimation methods: Corrected ordinary least squares and Data Envelopment Analysis*. European Journal of Operational Research, 1993. **67**(3): p. 332.
113. R. Doménech, *Medidas no Paramétricas de Eficiencia en el Sector Bancario Español*. 1991, Revista española de economía: Valencia. p. 171.
114. A.M. Bessent, et al., *An Application of Mathematical Programming to Assess Productivity in the Houston Independent School District*. Management Science, 1982. **28**(12): p. 1355.
115. D. Giokas, *Bank Branch Operating Efficiency: A Comparative Application of DEA and the Loglineal Model*. Omega, 1991. **19**(6): p. 557.
116. E. Grifell-Tatje, D. Prior, y V. Salas, *Eficiencia Frontera y Productividad en las Cajas de Ahorros Españolas (1989-1990)*. 1992b, Universidad de Valencia: Valencia.
117. S. El-Mahgary y R. Lahdelma, *Data Envelopment Analysis: Visualizing the Results*. European Journal of Operational Research, 1995. **83**(3): p. 700.
118. P. Miliotis, *Data Envelopment Analysis Applied to Electricity Distribution Districts*. International Journal of Business Performance Management, 1992. **7**(1): p. 60.
119. A. Boussofiane, R.G. Dyson, y E. Thanassoulis, *Applied Data Envelopment Analysis*. European Journal of Operational Research, 1991. **52**(1): p. 1.
120. A. Charnes y W.W. Cooper, *Programming with linear fractional functional*. Naval Research Logistics Quarterly, 1962. **9**(3): p. 181.
121. M. Oral y R. Yolalan, *An empirical study on measuring operating efficiency and profitability of bank branch*. European Journal of Operational Research, 1990. **46**(3): p. 282.
122. W.D. Cook, D.A. Johnston, y D. Mccutcheon, *Implementations of Robotics: Identifying Efficient Implementers*. Omega, 1992. **20**(2): p. 227.
123. W.W. Cooper, L.M. Seiford, y K. Tone, *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. 2000: Springer.
124. R.D. Banker, A. Charnes, y W.W. Cooper, *Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis*. Management Science, 1984. **30**.
125. INEGI, *Características principales de los organismos operadores de agua, según entidad federativa y tipo de servicio*. 2003, Censo.
126. IMTA, *Indicadores básicos para la gestión de los organismos operadores*. 2007.
127. B. Golany y Y. Roll, *An application procedure for DEA*. Omega, 1989. **17**(3): p. 237.
128. J.K. Ashton, *Cost efficiency in the UK water and sewerage industry*. Appl. Econ. Letters, 2000. **7**(7): p. 455.
129. V.B. Ortiz, et al., *Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de Organismos Operadores de agua potable en el país*. Gasetta IMTA, 2007(12).