

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO  
FACULTAD DE CONTABILIDAD Y CIENCIAS ADMINISTRATIVAS**



# **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN ELECTRICA EN LA DIVISIÓN CENTRO OCCIDENTE UTILIZANDO DEA.**

**GERARDO SALVADOR CHORA HERNANDEZ**

Tesis para obtener el grado de Maestro en Administración

Director de Tesis:

**Dr. FEDERICO GONZALEZ SANTOYO**

Morelia Michoacán, 2006

# AGRADECIMIENTOS

Por medio de este espacio, quiero manifestar mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una manera u otra contribuyeron de manera determinante al desarrollo de esta tesis.

Primeramente, quiero agradecer a Dios por haberme ayudado durante toda la vida y de manera particular por la ayuda facilitada durante mis estudios y el desarrollo de este trabajo.

En segundo lugar a mi padre aunque ya fallecido ha sido mi ejemplo a seguir, ya que en vida siempre logro alcanzar las metas que se propuso, y esa fue la estrella que me guió para poder así concluir el desarrollo de esta tesis.

En tercer lugar a toda mi familia, porque siempre me apoyaron durante toda la realización de esta tesis.

En cuarto lugar quiero agradecer a la Comisión Federal de Electricidad que me brindo el apoyo para realizar los estudios de Maestría y la ejecución del presente trabajo.

Finalmente quiero agradecer sinceramente al Dr. Federico González Santoyo, por sus consejos, apoyo y guía que han hecho realidad el desarrollo de esta tesis.

# INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA -----	ii
AGRADECIMIENTOS -----	iii
INDICE DE FIGURAS -----	x
INDICE DE TABLAS -----	xiii
RESUMEN -----	xvi
ABSTRACT -----	xviii
INTRODUCCIÓN -----	1
Antecedentes -----	1
Presentación del Problema -----	3
JUSTIFICACIÓN -----	4
Estado del Arte -----	5
Metodología -----	7

OBJETIVOS .....	8
Alcance de la Tesis .....	9
Producto de la Tesis .....	10
Contribuciones .....	10
Descripción de los Capítulos de la Tesis .....	11
Hipótesis .....	13
Marco teórico .....	13
1. DISTRIBUCIÓN ELECTRICA EN MÉXICO .....	14
1.1 Descripción del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) .....	14
1.1.1 Objetivos del CENACE .....	15
1.1.2 Estructura Orgánica del CENACE .....	17
1.1.3 Características .....	18
1.2 Estructura de las Redes de Distribución .....	22
1.3 Naturaleza Económica de las Redes de Distribución .....	25
1.3.1 La actividad de la Distribución Eléctrica .....	25
1.3.2 Descripción del Negocio de la Distribución Eléctrica .....	26
1.3.3 Sistema de Precios .....	28
1.3.4 Costos de los Procesos de Distribución Eléctrica .....	29
1.3.4.1 Costeo por Actividades .....	32
1.3.5 Mercado de Energía .....	37

1.3.5.1 Antecedentes -----	37
1.3.5.2 La Situación en el Mundo de los Mercados de Energía -----	38
1.3.5.3 La Organización de los Mercados Mayoristas de Electricidad -----	40
1.3.5.4 Modelos de Organización de los Mercados Mayoristas de Electricidad -----	41
1.4 Monopolios Naturales -----	43
1.4.1 Monopolio Puro -----	43
1.4.2 Bases del Monopolio -----	44
1.5 Regulación de la Distribución -----	45
1.5.1 Causas de la Regulación -----	45
1.5.2 Fallas de Mercado -----	48
1.5.2.1 Bienes Públicos -----	48
1.5.2.2 Externalidades -----	49
1.5.2.3 Asimetrías de Información -----	50
1.5.2.4 Competencia imperfecta -----	51
1.5.2.5 Intervención Gubernamental -----	51
1.5.3 Políticas Regulatorias -----	52
1.5.3.1 Barreras de Entrada -----	52
1.5.4 Regulación Por Desempeño (Benchmark Regulación) -----	53
1.5.4.1 Metodología Price Cap (Índice de Precios) -----	55
1.5.4.2 Metodología Yardstick Competition -----	56

1.5.4.2.1 Yardstick Competition entre Empresas idénticas -----	59
1.5.4.2.2 Yardstick Competition con otros supuestos -----	60
2. EFICIENCIA ECONOMICA -----	62
2.1 Eficiencia -----	62
2.1.1 Conceptos de Eficiencia -----	62
2.1.2 Eficiencia Económica -----	63
2.1.2.1 Indicadores de la Eficiencia Económica -----	65
2.2 Factores de la Eficiencia Económica -----	67
2.2.1 Conceptos -----	67
2.2.2 Medidas de Eficiencia Orientadas a Entradas -----	68
2.2.3 Medidas de Eficiencia Orientadas a Salidas -----	73
3. FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DEL DEA -----	75
3.1 Conceptos -----	75
3.1.1 Metodología de los Modelos Frontera -----	75
3.1.2 Desarrollo de un Modelo DEA -----	80
3.1.2.1 Eficiencia de producción -----	83
3.1.2.2 Medida de Eficiencia -----	86

3.2 Modelos DEA -----	87
3.2.1 Modelo CCR -----	87
3.2.1.1 Modelo CCR orientado a los productos (CCR-O) -----	93
3.2.1.2 Calculo de Holguras -----	95
3.2.1.3 Análisis de las Variables Slacks -----	96
3.2.2 Modelo BCC -----	97
3.2.2.1 Modelo BCC Orientado a Entradas -----	99
3.2.2.2 Modelo BCC Orientado a Salidas -----	102
3.2.3 Modelo Aditivo -----	103
3.2.3.1 Modelo Aditivo Básico -----	103
3.2.4 Modelo SBM -----	105
3.2.5 Ventajas y Desventajas de los Modelos DEA -----	109
3.2.5.1 Ventajas -----	109
3.2.5.2 Desventajas -----	111
4. APLICACIÓN DE LOS MODELOS DEA PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN LA DIVISIÓN CENTRO OCCIDENTE -----	112
4.1 Definición y Selección de las Zonas de Distribución (DMU'S) -----	112
4.1.1 Definición del Objetivo del Análisis -----	113
4.2 Selección y Determinación de Entradas y Salidas -----	115
4.2.1 Conceptos -----	115

4.2.2 Proceso de Producción -----	118
4.2.3 Selección y Determinación de variables de Entrada y Salida Caso de Estudio -----	119
4.3 Evaluación del Desempeño de las Zonas de Distribución aplicando los Modelos DEA -----	124
4.3.1 Análisis de Eficiencia -----	124
4.3.2 Análisis de Eficiencia con Modelo CCR -----	125
4.3.3 Análisis de Eficiencia Técnica y Eficiencia de Escala con Modelo BCC -----	130
4.3.4 Análisis de las Variables Slacks en Caso de Estudio -----	135
RESULTADOS -----	136
Análisis Anual de la Eficiencia -----	136
Análisis Anual de Estimaciones de Metas Optimas en la Determinación de la Eficiencia -----	148
Análisis de la Evolución de la Eficiencia en el Período 2000-2005 -----	153
Análisis de la Situación Ideal -----	158
Análisis de Nuevas Tendencias de Indicadores en La División Centro Occidente -----	162
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	166
BIBLIOGRAFÍA -----	169

# INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1.1	Objetivos Básicos de Operación del CENACE ----- 16
1.2	Estructura Orgánica del CENACE ----- 17
1.3	Centros de Consumo de energía eléctrica en México ----- 19
1.4	Red Troncal de transmisión del Sistema Eléctrico Nacional -----20
1.5	Divisiones de Distribución de la CFE-----23
1.6	Zonas de Distribución de la División Centro Occidente -----24
1.7	Áreas y Agencias de la Zona de Distribución Morelia -----24
1.8	Sistema de Distribución de la Energía -----30
1.9	Sistema de Distribución Región Central -----33
1.10	Sistema con Costos Unitarios Directos + Proveedores -----35
1.11	Sistema con Costos Unitarios Totales -----36
1.12	Reestructuración de los Mercados Eléctricos -----39
1.13	Modelos Organizacionales de los Mercados Eléctricos -----42
2.1	Eficiencia de una empresa orientada a entradas -----69
2.2	Isocuanta de la empresa más eficiente -----72
2.3	Eficiencia de una empresa orientada a salidas -----73
3.1	Estructura de investigación de los modelos DEA ----- 82

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro  
Occidente Utilizando DEA

---

3.2	Eficiencia de la Frontera de Producción -----	84
3.3	Análisis de los slacks -----	97
4.1	Proceso de Producción de la Distribución de Electricidad -----	118
4.2	Modelo propuesto de Producción de las Zonas (DMU'S) -----	121
5.1	Eficiencia Total Zonas Modelo CCR año 2000 escenario 1 -----	137
5.2	Eficiencia Total Zonas Modelo CCR año 2000 escenario 2 -----	139
5.3	Eficiencia Total Zonas Modelo CCR año 2000 escenario 3 -----	140
5.4	Eficiencia Técnica Zonas Modelo BCC año 2000 escenario 1 -----	143
5.5	Eficiencia Técnica Zonas Modelo BCC año 2000 escenario 2 -----	145
5.6	Eficiencia Técnica Zonas Modelo BCC año 2000 escenario 3 -----	147
5.7	Evolución de la Eficiencia Total Modelo CCR escenario 1 -----	153
5.8	Evolución de la Eficiencia Total Modelo CCR escenario 2 -----	154
5.9	Evolución de la Eficiencia Total Modelo CCR escenario 3 -----	155
5.10	Evolución de la Eficiencia Técnica Modelo BCC escenario 1 -----	156

5.11	Evolución de la Eficiencia Técnica Modelo BCC escenario 2 -----	157
5.12	Evolución de la Eficiencia Técnica Modelo BCC escenario 3 -----	158
5.13	Perspectivas e indicadores del Tablero de Mando Integral -----	164
5.14	Métricas del Tablero de Mando Integral -----	165

# INDICE DE TABLAS

Tablas	Pág.
1.1 Niveles de Clasificación de Zonas y Divisiones -----	3
1.2 Costos Proceso de Comercialización Baja Tensión -----	34
3.1 Comparación de los Modelos DEA -----	108
4.1 Datos estadísticos Zona Uruapan -----	122
4.2 Inputs y Outputs de las Zonas escenario 1	
Año 2000 -----	123
4.3 Inputs y Outputs de las Zonas escenario 2	
Año 2000 -----	123
4.4 Inputs y Outputs de las Zonas escenario 3	
Año 2000 -----	124
4.5 Eficiencia Total y valores slack escenario 1	
Año 2000 -----	126
4.6 Eficiencia Total y valores slack escenario 2	
Año 2000 -----	127
4.7 Eficiencia Total y valores slack escenario 3	
Año 2000 -----	128
4.8 Eficiencia Total en período analizado	
Modelo CCR combinación 1 -----	129
4.9 Eficiencia Total en período analizado	
Modelo CCR combinación 2 -----	129

4.10	Eficiencia Total en período analizado	
	Modelo CCR combinación 3 -----	130
4.11	Eficiencia Total, Técnica y de Escala Modelo BCC	
	Año 2000 combinación 1 -----	131
4.12	Eficiencia Total, Técnica y de Escala Modelo BCC	
	Año 2000 combinación 2 -----	132
4.13	Eficiencia Total, Técnica y de Escala Modelo BCC	
	Año 2000 combinación 3 -----	133
4.14	Eficiencia Técnica en período analizado	
	Modelo BCC combinación 1 -----	134
4.15	Eficiencia Técnica en período analizado	
	Modelo BCC combinación 2 -----	134
4.16	Eficiencia Técnica en período analizado	
	Modelo BCC combinación 3 -----	135
5.1	Análisis de Estimaciones óptimas inputs slacks	
	Modelo CCR -----	149
5.2	Análisis de Estimaciones óptimas outputs slacks	
	Modelo CCR -----	149
5.3	Metas de entradas óptimas (inputs)	
	Modelo CCR -----	150
5.4	Metas de salidas óptimas (outputs)	
	Modelo CCR -----	150
5.5	Análisis de Estimaciones óptimas inputs slacks	
	Modelo BCC -----	151
5.6	Análisis de Estimaciones óptimas outputs slacks	
	Modelo BCC -----	151

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro  
Occidente Utilizando DEA

---

5.7	Metas de entradas optimas (inputs)	
	Modelo BCC -----	152
5.8	Metas de salidas optimas (outputs)	
	Modelo BCC -----	152
5.9	Evaluación de Zonas Año 2000	
	Modelo Actual -----	159
5.10	Evaluación de Zonas Año 2001	
	Modelo Actual -----	159
5.11	Evaluación de Zonas Año 2002	
	Modelo Actual -----	160
5.12	Evaluación de Zonas Año 2003	
	Modelo Actual -----	160
5.13	Evaluación de Zonas Año 2004	
	Modelo Actual -----	161
5.14	Evaluación de Zonas Año 2005	
	Modelo Actual -----	161

# RESUMEN

En esta investigación, se realiza la evaluación del desempeño de la distribución eléctrica en las 10 Zonas de Distribución de la División Centro Occidente de la Comisión Federal de Electricidad, aplicando los modelos DEA (Data Envelopment Analysis: Análisis de la Frontera de Datos), la cual es una técnica de optimización lineal, no paramétrica, que construye una frontera de producción, donde se ubican las empresas más eficientes por medio de la combinación de múltiples insumos y productos.

Se efectúa una revisión de los fundamentos teóricos y metodológicos de los Modelos DEA aplicados, teniendo como referencia las ideas pioneras de Farrell (1957), así como los avances efectuados por Charnes et al. (1978), quienes cimentaron los fundamentos matemáticos de la teoría moderna del método de frontera DEA, estructurándolo como un modelo de programación lineal. Se analiza el modelo CCR, por medio del cual se obtiene la eficiencia total con rendimientos constantes a escala (CRS).

Se revisan los aportes de Banker et al. (1984), para contemplar las situaciones de rendimientos variables a escala (VRS), dando lugar al modelo BCC, con el cual se pueden conocer los niveles de eficiencia técnica y de escala.

Parte importante de los modelos DEA aplicados (CCR y BCC), es el análisis slacks de las variables, que sirven para identificar en que dirección deben de efectuarse los cambios en las zonas de distribución para elevar sus niveles de eficiencia, ya sea al disminuir los insumos o al incrementar los productos.

La investigación se realiza para el período comprendido de los años 2000-2005, para diferentes escenarios.

# ABSTRACT

In this investigation, is made the evaluation of the performance of the electrical distribution in the 10 Zones of Distribution of the "Division Center Occident" of the Federal Commission of Electricity, applying models DEA (Data Envelopment Analysis: Analyses of the Frontier of Data), which is a technique of linear optimization, nonparametric, that constructs a production frontier, where are located the efficient utilities by means of the combination of manifold inputs and outputs.

A revision of the theoretical and methodological foundations of applied Models DEA takes place, having like reference the pioneering ideas of Farrell (1957), as well as the advances conducted by Charnes Et al. (1978), whom set down the mathematical foundations of the modern theory of the method of frontier DEA, structuring it like a linear programming model. Model CCR is analyzed, on which it is gotten the total efficiency with constant returns to scale (CRS).

The contributions of Banker et al are reviewed (1984), to seeing the situations of the variable returns to scale (VRS), giving place to the model BCC, with which allows the knowledge of the technical and scale efficiency levels.

Important part of applied models DEA (CCR and BCC), is the slacks analysis of the variables, that serve to identify in which direction the changes in the zones of distribution must take place to raise their efficiency levels, or when decreasing the inputs or increasing the outputs.

The investigation is made for the included period of years 2000-2005, for different scenes.

# INTRODUCCION

## ANTECEDENTES

La Subdirección de Distribución de la Comisión Federal de Electricidad tiene a su encargo la evaluación del desempeño de sus Divisiones y Zonas de Distribución, para que en función de los resultados de aquellos indicadores de Gestión más representativos e importantes del proceso, pueda con ello dar cumplimiento a lo que establece la Ley Federal de las Entidades Paraestatales en su Art. 59 como responsabilidad de la Dirección General y que consiste en: "Establecer mecanismos de evaluación que destaquen la eficiencia y la eficacia con que se desempeñe la entidad y presentar al Órgano de Gobierno por lo menos dos veces al año la Evaluación de Gestión con el detalle que previamente se acuerde con el Órgano y escuchando al Comisario Público...". Y al Art. 15 del Reglamento que dice: "Los titulares de las entidades paraestatales ... deberán ... establecer Indicadores de Gestión y Sistemas adecuados de operación, registro, seguimiento, control y evaluación de las operaciones de la entidad...".

Para cumplir con lo anterior, la Comisión Federal de Electricidad en la actualidad realiza la Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en México por medio de la aplicación de 2 Procedimientos establecidos:

1. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS “DEVO”.
2. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE ZONAS Y DIVISIONES DE DISTRIBUCIÓN.

El primer procedimiento, es un manual que se utiliza para llevar a cabo el Control de la Gestión de los procesos operativos del Sector Eléctrico y consta de 22 Indicadores.

Estos indicadores se subdividen en:

- Comportamiento del proceso (7 Indicadores)
- Productividad de la fuerza de trabajo (8 Indicadores)
- Productividad económica (3 Indicadores)
- Seguridad en el trabajo (2 Indicadores)
- Capacitación y adiestramiento (2 Indicadores)

El segundo procedimiento, es un manual que se utiliza en la CFE para evaluar y calificar a las Divisiones y Zonas de Distribución, sobre la base de 3 aspectos:

1. EFICACIA
2. EVOLUCIÓN Y CONSTANCIA
3. POSICIÓN RELATIVA

Los cuales al ser integrados determinan el nivel global de desempeño de la División ó Zona de Distribución.

Los niveles para clasificar a las Divisiones y Zonas se muestran en la tabla No. 1.1.

Niveles de Clasificación de Zonas y Divisiones

Nivel	Divisiones	Zonas
Excelente	Resultado $\geq 87.16$	Resultado $\geq 90.93$
Bueno	$87.16 > \text{Resultado} \geq 81.53$	$90.93 > \text{Resultado} \geq 86.57$
Regular	$81.53 > \text{Resultado} \geq 75.91$	$86.57 > \text{Resultado} \geq 82.21$
No aceptable	Resultado $< 75.91$	Resultado $< 82.21$

Fuente: Procedimiento de Evaluación de Zonas y Divisiones CFE.

Tabla No. 1.1

## PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

En el proceso de la evaluación del desempeño de los diferentes centros de trabajo la Comisión Federal de Electricidad se enfrenta ante una problemática a resolver, que consiste en el que no todas las Divisiones ó Zonas de Distribución son iguales (en infraestructura eléctrica, número de trabajadores, tamaño, número de clientes, demanda eléctrica, medio ambiente, etc.), por lo cual la evaluación del desempeño de la distribución eléctrica en México y por lo tanto en la División Centro Occidente que se viene realizando no es el adecuado al no poderse relacionar los datos de los indicadores manejados, generando el que no se puedan identificar los centros eficientes de los no eficientes y provocando con ello que no se tenga una adecuada planeación de la asignación de recursos tanto para la operación y mantenimiento como en las nuevas inversiones, lo cual se refleja en un gran impacto económico para la Comisión Federal de Electricidad y para México.

# JUSTIFICACION

Hoy en día el mundo entero ha cambiado, han caído los viejos modelos económicos y surgido las economías globalizadas; el estado y el sector privado de la economía jugarán nuevos roles, dentro del Sector Eléctrico de acuerdo al marco regulatorio vigente.

En virtud de esos cambios tan rápidos que se están sucediendo en el orbe mundial dentro de las empresas eléctricas públicas propiedad de los gobiernos hacia la privatización y liberación de los mercados eléctricos, la Comisión Federal de electricidad, no debe de ser la excepción y quedarse al margen de ello, por lo que tiene la imperiosa necesidad de aplicar nuevas técnicas o formas existentes de evaluación de su eficiencia comparativa a fin de promover la competencia, buscando con ello lograr incrementar el desempeño global de operación de la empresa, reduciendo sus costos e incrementando sus ingresos y por ende haciéndola más rentable.

Una de estas técnicas es la de los Modelos DEA (Data Envelopment Analysis: Análisis de la Frontera de Datos), para la evaluación del desempeño de la distribución eléctrica de las empresas.

## **ESTADO DEL ARTE**

El desarrollo histórico de los modelos DEA (Data Envelopment Analysis: Análisis de la Frontera de Datos ) ha sido el siguiente:

Las ideas pioneras en este ramo las introdujo primeramente Farrell, sobre la Producción Eficiente, en el año de 1957, basado en el trabajo realizado por Debreu y Koopmans en el año de 1951 sobre la definición de la medida de eficiencia de una empresa la cual podría tomar en cuenta múltiples entradas.

En el año de 1962 Farrell y Fieldhouse plantean las soluciones a la problemática de la estimación de las funciones de producción frontera bajo condiciones de rendimientos crecientes a escala.

Farrell más tarde propuso computar los parámetros de la función frontera, usando la forma Cobb-Douglas. En el año de 1968 Aigner y Chu fueron los primeros en seguir la sugerencia de Farrell.

Seguidos estos trabajos por los avances en esta dirección de Charnes, Cooper y Rodhes en el año de 1978, que sentaron los fundamentos matemáticos de la teoría moderna del método de frontera DEA, al estructurarlo como un modelo de programación lineal.

Siendo ellos los autores del modelo conocido como CCR (en honor a las iniciales de sus nombres), a través del cual se obtiene la

eficiencia total con rendimientos constantes a escala (CRS), basándose en el trabajo previamente realizado por Farrell.

En el año de 1980, a partir del trabajo de Aigner y Chu, se genera un gran número de ensayos dirigidos a estimar las funciones frontera, destacándose los realizados por Forsund, Lovell, Schimidt, Grosskopf, así como los de Timmer, Afriat, Richmond, Greene, Kopp y Nelson.

En el año de 1984 se tienen los aportes de Banker et al., quienes sugirieron una extensión de los rendimientos constantes a escala del modelo, para considerar las situaciones de los rendimientos variables a escala (VRS), dando lugar al modelo BCC, el cual permite conocer los niveles de eficiencia técnica y de escala.

Estos análisis los desarrollaron Fare, Grosskopf y Lovell en el año de 1994, al extender los modelos para tomar en cuenta los costos y las eficiencias asignadas.

En la actualidad este método ha sido usado para llevar a cabo la evaluación del Desempeño de diferentes tipos de unidades de toma de decisiones incluyendo a escuelas, hospitales, bancos, restaurantes, tiendas, empresas de manufactura.

Inicialmente se considero que este método podría ser aplicado solamente en organizaciones no lucrativas, pero mas tarde se comprobó que su aplicación se podía extender hasta incluir a todo

tipo de organizaciones y empresas, realizándose evaluaciones gerenciales y de Benchmarking.

Las aplicaciones del método DEA han sido pocas y dispersas en los años 80's; sin embargo en los 90's su incremento fue significativo y en la actualidad se ve una explosión de aplicaciones.

Se indica que la utilización del método DEA en el campo de las empresas eléctricas ha sido muy limitado en los Estados Unidos, no así en países de Europa y Asia, donde se observa un amplio nivel de actividad.

## **METODOLOGIA**

Con el objeto de tener una sustentación profunda (en su marco teórico), para el presente trabajo sobre la determinación de la evaluación del desempeño de la distribución eléctrica en la División Centro Occidente se utilizará la metodología de la "Investigación Bibliográfica", a través del estudio en fuentes documentales de información relacionadas con el método DEA (Libros, folletos, revistas, documentos, textos, etc).

El procedimiento para realizar la recolección de la información será el de la lectura, selección y organización de los temas afines. El tipo de análisis será el descriptivo, dinámico y de contenido.

# OBJETIVOS

Los objetivos de la tesis, corresponden a un estudio de los modelos DEA (Data Envelopment Analysis: Análisis de la frontera de datos), aplicados a la evaluación de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente:

- El primer objetivo es, el de analizar las características de la metodología propuesta y como ésta genera información importante en las empresas para realizar mejoras de eficiencia a su gestión.
- Un segundo objetivo es, el de analizar como se determinan los niveles de eficiencia en las empresas en estudio al aplicarles la metodología DEA.
- Un tercer objetivo es, el de simular la evaluación del desempeño de la empresa (Comisión Federal de Electricidad) que desarrolla las actividades de la Distribución Eléctrica en México, específicamente en la División Centro Occidente.
- Un cuarto objetivo es, el de comparar, la metodología DEA, con la metodología aplicada actualmente en México.

## **ALCANCE DE LA TESIS**

En la presente tesis, se revisan los planteamientos teóricos y metodológicos de los modelos DEA, así como en su forma de instrumentación a través de una evidencia empírica.

Primeramente, se analizan los fundamentos teóricos y metodológicos de los modelos frontera siguiendo el enfoque de Farrell (1957), así como las consideraciones que en esta misma dirección realizó Charnes et al (1978), al considerar los rendimientos constantes a escala en este tipo de estudios.

De igual forma se contempla aquí la sugerencia de Banker et al. (1984), sobre las implicaciones que tienen en los modelos DEA la extensión de los rendimientos constantes a rendimientos variables a escala.

Posteriormente, en esta tesis, se efectúa el estudio empírico, considerándose el Sector eléctrico en México, de manera particular la División Centro Occidente en sus 10 Zonas de Distribución durante el período del año 2000-2005. Se analiza a través de esta evidencia empírica, los niveles de eficiencia de la División a través de la evaluación de las 10 zonas que la integran.

Finalmente se exponen, las principales conclusiones, tanto de los aspectos teóricos y metodológicos como de los resultados

obtenidos del estudio empírico realizado a la División Centro Occidente.

## **PRODUCTO DE LA TESIS**

El producto que se obtiene de esta tesis es la información y los conocimientos necesarios para poder llevar a cabo la evaluación del desempeño relativo (eficiencia) de las 10 Zonas De Distribución de la División Centro Occidente, la cual es parte del sector Distribución de la empresa Comisión Federal de Electricidad en México. Durante el período analizado (2000-2005).

## **CONTRIBUCIONES**

Con los resultados obtenidos del estudio empírico aplicando la metodología DEA en la evaluación del desempeño de las Zonas de distribución más ineficientes, se podrán realizar las siguientes acciones:

- Investigar las alternativas de reorganización de éstas, buscando incrementar el desempeño global.
- Conocer directrices específicas de estas zonas teniendo como objetivo el de mejorar su desempeño y hacerlas más eficientes.

## **DESCRIPCIÓN DE LOS CAPITULOS DE LA TESIS**

La presente tesis esta estructurada de la siguiente manera:

Inicialmente se hace la presentación del problema relativo a la forma en la que actualmente se lleva a cabo la evaluación del desempeño de la distribución eléctrica en México.

Posteriormente se plantean tanto la justificación como los objetivos de la tesis. Así como un breve bosquejo histórico del estado del arte de los Modelos frontera desde sus orígenes hasta la actualidad.

En el Capitulo 1 se hace una explicación de la conformación del Sistema Eléctrico Nacional de la Comisión Federal de Electricidad, de la estructura de sus Redes de Distribución, de la Naturaleza Económica de las Empresas de Distribución, de los Costos de los Procesos de Distribución Eléctrica y de los Mercados de Energía.

Se describen que son los Monopolios Naturales dentro de la Distribución Eléctrica, así como la Regulación de la Distribución y su impacto en las empresas gubernamentales.

En el Capitulo 2 se analiza el concepto de Eficiencia desde la perspectiva económica, así como el de los factores de eficiencia técnica y eficiencia asignativa que la conforman.

En el Capítulo 3 Se analizan los conceptos Matemáticos de los Modelos DEA, así como la descripción a detalle de los mismos.

Se presenta también la metodología DEA (Data Envelopment Analysis: Análisis de la frontera de datos), describiéndose las 3 principales fases de que consta, así como las recomendaciones a seguir en su desarrollo.

En el Capítulo 4 Se lleva a cabo la aplicación de la metodología DEA existente, mediante la simulación para determinar la evaluación del desempeño en el sector Distribución de México de la empresa Comisión Federal de Electricidad División Centro Occidente.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la eficiencia de la División Centro Occidente para los diferentes escenarios considerados y se efectúa el análisis y discusión de ellos.

Finalmente se sintetizan las principales conclusiones de la tesis y se proponen futuros temas en los que se puede profundizar el trabajo realizado.

## **HIPÓTESIS**

Las calificaciones de la evaluación del desempeño de la distribución eléctrica otorgadas actualmente mediante la utilización de la metodología de la Subdirección de Distribución no proveen de la información necesaria para la toma de decisiones de las Divisiones de Distribución.

## **MARCO TEORICO**

El presente trabajo se basa principalmente en el aspecto de las medidas de eficiencia moderna (Eficiencia de Producción) que se iniciaron con Debreu y Koopmans en 1951 y continuaron con Farrell en 1957.

Farrell propuso que la eficiencia de una empresa consta de 2 componentes:

- 1.- Eficiencia técnica.
- 2.- Eficiencia Distribuida.

La eficiencia técnica refleja la habilidad de la empresa para obtener la máxima salida de un conjunto de entradas dado.

La eficiencia distribuida refleja la habilidad de la empresa para usar las entradas en proporciones óptimas, dando sus respectivos precios. Estas 2 componentes se combinan para generar una medida de eficiencia económica total.

# CAPITULO 1

## DISTRIBUCIÓN ELECTRICA EN MÉXICO

### 1.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL (SEN).

El desarrollo económico y social de una nación está fuertemente vinculado a su patrón de consumo energético. Es así que en nuestro país el desarrollo económico y social se debe en buena medida a los avances obtenidos por dos de sus principales industrias: El Petróleo y La Electricidad, conducidos por las dos empresas públicas mas importantes del país, Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

En el caso particular de la CFE y derivado de la nacionalización de la Industria Eléctrica en 1960 , la necesidad de aprovechar los recursos Hidroeléctricos del país localizados a grandes distancias de los centros de consumo, la unificación de frecuencias y la interconexión de los sistemas, se hizo necesario crear una entidad encargada de la operación, control y coordinación de los incipientes sistemas eléctricos de ese entonces. Es así que hace 33 años se creó centralmente la Oficina de Operación Nacional de Sistemas y las Oficinas de Operación Sistema en varias partes del país, que es el antecedente de lo que hoy conocemos como el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

La forma en la que los fundadores de esta entidad lograron vislumbrar el futuro es impresionante, se anticiparon a su época y sentaron las bases de una forma superior de control de un sistema eléctrico; así por ejemplo, vemos como en la actualidad las empresas eléctricas americanas convergen lentamente hacia este modelo. Los fundadores del CENACE fueron capaces de dominar la técnica de su tiempo, de capacitar y orientar los recursos humanos y obtener los recursos técnicos y financieros para alcanzar su objetivo.

Pero lo que no ha cambiado es que, hoy como ayer, la evolución del país depende de un adecuado y oportuno suministro del energético. Más aún, en este contexto la importancia relativa de la electricidad se ha incrementado. Estos principios establecen el nuevo reto, transformar al CENACE conservando su esencia para ser capaces de estar a la altura de nuestros tiempos.

### **1.1.1.- OBJETIVOS DEL CENACE**

Para el logro de la misión es necesario el planteamiento de objetivos estratégicos que orienten los esfuerzos del grupo del CENACE hacia la consecución de esos objetivos y por ende, al logro de la misión. Los objetivos básicos del CENACE son mantener la continuidad en el suministro, calidad en el servicio, seguridad en la operación y economía global, respetando las restricciones ambientales, estos se muestran en la Figura No. 1.1.

La Continuidad consiste en la acción de suministrar ininterrumpidamente el servicio de energía eléctrica a los usuarios de acuerdo con la normatividad y reglamentos vigentes aplicables.

La Calidad implica mantener el suministro de energía eléctrica dentro de estándares internacionales en los valores de voltaje y frecuencia.

La Seguridad obliga a mantener las condiciones del Sistema Eléctrico de Potencia dentro de márgenes operativos que eviten o minimicen la ocurrencia de disturbios.

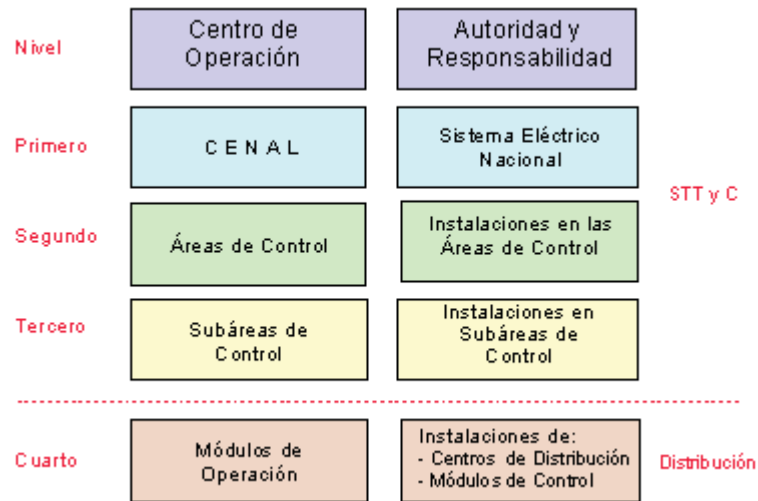
La Economía implica satisfacer en todo momento la demanda de energía eléctrica al más bajo costo de producción global en base a la disponibilidad de unidades generadoras, disponibilidad de energéticos primarios, escurrimientos hidráulicos y restricciones en la red de transmisión.



Fuente: Manual de Operación del CENACE-CFE.  
Figura No. 1.1

### 1.1.2.- ESTRUCTURA ORGANICA DEL CENACE

La estructura orgánica actual consta de cuatro niveles jerárquicos, los cuales se muestran en la Figura No. 1.2, cada uno con funciones específicas que debe llevar a cabo, siempre en forma coordinada; los tres primeros dependientes de la Subdirección de Transmisión, Transformación y Control (STTyC), y el cuarto dependiente de la Subdirección de Distribución.



Fuente: Manual de Operación del CENACE-CFE.

Figura No. 1.2

El Primer nivel jerárquico está constituido por un Centro Nacional (CENAL), que planea, coordina y supervisa la generación de energía y la seguridad de la red troncal nacional. La seguridad, la calidad de la frecuencia y la economía global del SEN son los objetivos básicos atendidos en este nivel. El CENAL tiene autoridad técnica y administrativa sobre los subsecuentes niveles.

El segundo nivel lo constituyen 8 áreas de control, en que se ha dividido el SEN, para su mejor coordinación y administración. A cada una de estas áreas les corresponde supervisar la generación y mantener la seguridad, la continuidad y la calidad en la red de transmisión y subtransmisión, en un ámbito geográfico determinado.

El tercer nivel lo conforman 25 subáreas de control, que atienden la calidad del voltaje y la continuidad del servicio, operando y supervisando la red eléctrica de subtransmisión que está bajo su responsabilidad.

El cuarto nivel lo opera Distribución y está constituido por centros de distribución y módulos de control, que operan y supervisan las maniobras en la red eléctrica de distribución en puntos más cercanos al consumidor.

### **1.1.3.- CARACTERISTICAS**

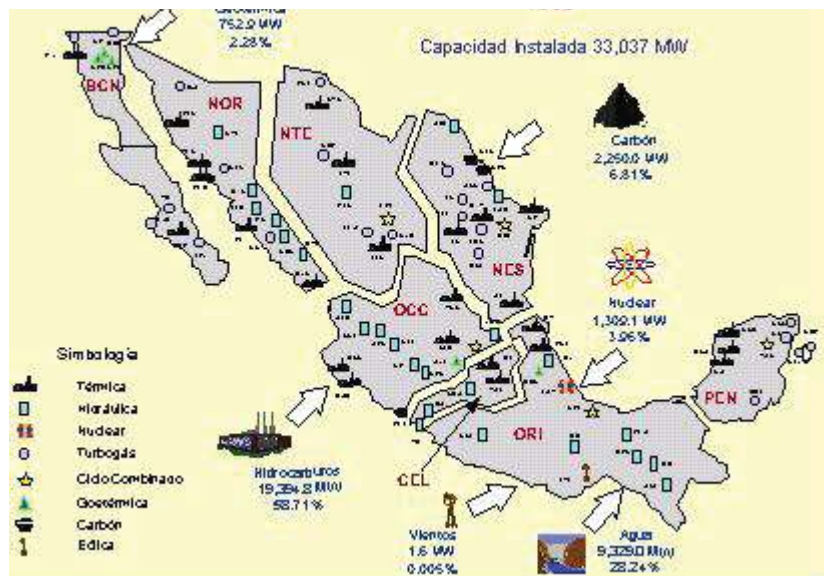
Los principales centros de consumo se localizan en la parte central del país, destacando las ciudades de México, Monterrey, Guadalajara, Veracruz, Puebla y Tijuana. En la ciudad de México y su zona conurbana se concentra cerca del 25% de la demanda total del país. La demanda de energía es dinámica, cambia a cada instante en forma horaria, diaria, semanal y estacionalmente.

En la Figura No. 1.3 se muestran los centros de consumo de la energía eléctrica en México.

Dado que la demanda cambia a cada instante es necesario variar continuamente la energía que producen las unidades generadoras, controlando las características de voltaje y frecuencia, además de conservar los límites de operación de cada uno de los elementos del sistema (generadores, transformadores, líneas, etc.), vigilando que se cumplan los objetivos básicos de la operación.

Para la producción de energía eléctrica se aprovechan las fuentes primarias de energía de que se dispone (hidrocarburos, agua, carbón, nuclear, geotérmica y vientos), coordinando su operación para la producción del Kwh., al más bajo costo.

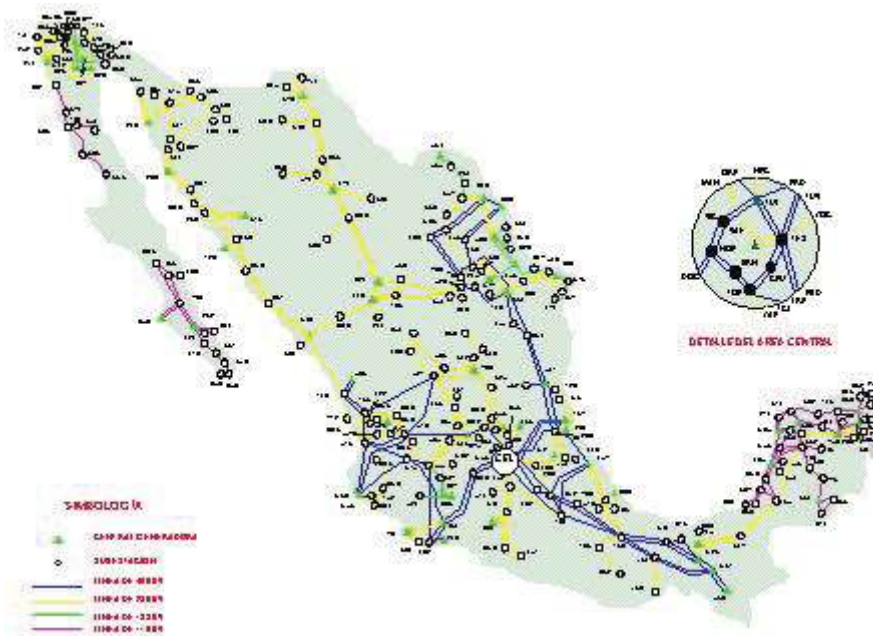
Centros de Consumo de la Energía Eléctrica en México



Fuente: Manual de Operación del CENACE-CFE.  
Figura No. 1.3

Debido a la gran distancia entre los centros de generación y los centros de consumo, es necesario contar con una red de transmisión que permite enlazarlos y a la vez darle flexibilidad de asignar la generación mas conveniente para satisfacer la demanda.

En la Figura No. 1.4 se muestra la Red Troncal de transmisión del Sistema Eléctrico Nacional.



Fuente: Manual de Operación del CENACE-CFE.  
Figura No. 1.4

El Sistema Eléctrico Nacional está integrado por la red troncal del Sistema Interconectado (SI), que contiene a las áreas de control Central (CEL), Oriental (ORI), Occidental (OCC), Norte (NTE), Noreste (NES) y Peninsular (PEN); el Sistema del Área Noroeste (NOR) opera generalmente en forma aislada y solo se interconecta en forma

esporádica con el resto del conjunto, y la red de los sistemas aislados Norte y Sur del área de control Baja California (BCA).

$$\begin{aligned} \text{SI} &= \text{CEL} + \text{ORI} + \text{OCC} + \text{NTE} + \text{NES} + \text{PEN} \\ \text{SIN} &= \text{SI} + \text{NOR} \\ \text{SEN} &= \text{SIN} + \text{BCA} \end{aligned}$$

El SEN esta conformado por 101 líneas de transmisión de 400 kV con un total de 11,367 km; 393 líneas de transmisión de 230 kV con un total de 19,529 km y en los voltajes de 161, 150, 138 y 115 kV un total de 716 líneas con una longitud de 22,056 km.

La red nacional mantiene enlaces con otras redes de Estados Unidos de Norteamérica y Belice: A Estados Unidos de Norteamérica en forma permanente está interconectada la red de Baja California Norte mediante 2 líneas de 230 kV; en forma aislada el Sistema Interconectado lo hace mediante 3 líneas de 138 kV y 2 de 115 kV en las Áreas Noreste y Norte respectivamente, con Belice se tiene una interconexión a través de una línea de 34.5 kV.

La interconexión de los sistemas permite las siguientes ventajas:

- Aprovechamiento óptimo de los recursos de generación y transmisión.
- Asistencia mutua en caso de emergencia y contingencia.
- Aprovechamiento de la diversidad de las cargas para satisfacer mejor la demanda máxima del sistema.

El despacho económico es centralizado, logrando así el más bajo costo de producción global.

## **1.2.- ESTRUCTURA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN**

La estructura del Sector Eléctrico en México se desprende de la conformación de 13 Divisiones de Distribución, las cuales se muestran en la Figura No. 1.5, mismas que dependen de una Subdirección Nacional de distribución, la cual a su vez depende de la Dirección Nacional de Operación.

Las 13 Divisiones de Distribución se subdividen en 116 Zonas de distribución.

Dentro de las Divisiones de Distribución se encuentra contenida la División Centro Occidente que comprende diez Zonas de Distribución con cobertura geográfica en los estados de Michoacán y Colima, y algunas porciones colindantes de los estados de Guanajuato, Jalisco y Guerrero.

En cada una de las Divisiones la estructura se inicia con el Sistema de Subtransmisión (el cual lo constituyen las líneas de 161 y 115 KV), se continua con el proceso de la Transformación que se efectúa en las Subestaciones de Distribución (Transformando voltajes de 161-115/23-13.8 KV.), para después llevar a cabo la distribución de

la energía eléctrica (por medio de los circuitos de distribución) y poder llevarlo a los usuarios finales.

### Divisiones de Distribución



Fuente: Información Básica Nacional (Internet) CFE.  
Figura No. 1.5

Para administrar y operar estas instalaciones que conforman la estructura de las Redes de Distribución de la Comisión Federal de Electricidad, se tiene, implantada la siguiente estructura organizacional.

Las Zonas de distribución se integran por áreas de distribución y las áreas por agencias comerciales.

Para ilustrar lo anteriormente mencionado se muestran en la Figura No. 1.6 las 10 Zonas de distribución de la División Centro Occidente, y en la Figura No. 1.7 se muestran las 4 Áreas de distribución y las 5 Agencias Comerciales que conforman la estructura

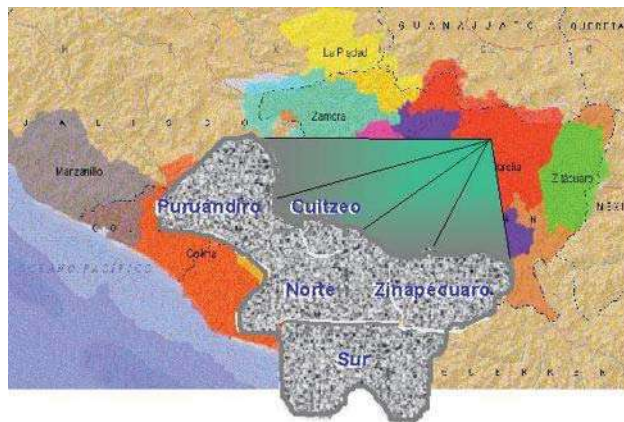
organizacional de la Zona de Distribución Morelia, perteneciente a la División de Distribución Centro Occidente.

### Zonas de Distribución



Fuente: Información Básica Divisional (Internet) CFE.  
Figura No. 1.6

### Áreas y Agencias Comerciales de la Zona Morelia



Fuente: Información Básica Divisional (Internet) CFE.  
Figura No. 1.7

## **1.3.- NATURALEZA ECONOMICA DE LAS COMPAÑIAS DE DISTRIBUCIÓN**

### **1.3.1.- LA ACTIVIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**

El negocio de la Distribución Eléctrica posee economías de ámbito, ó más bien de densidad, es decir mientras más densamente poblada es el área de concesión de la empresa, los costos de ésta por servir a un cliente disminuyen, al abastecer a un mayor número de clientes con las mismas instalaciones.

Por esta razón se dice que el negocio de la Distribución Eléctrica es un Monopolio Natural, que ha estado hasta hace poco tiempo en las manos del gobierno, en la mayoría de los países, pero que mediante procesos de desregulación y privatización han podido desarrollarse desde principios de la década de los ochenta en todo el mundo, siendo Chile el país pionero a nivel mundial.

Paralelamente al auge tenido en los procesos de desregulación, se ha puesto demasiada atención al estudio de la regulación aplicada a los Mercados eléctricos y particularmente la regulación de las empresas de distribución que no son susceptibles de competencia como es el caso de la generación eléctrica.

### **1.3.2.- DESCRIPCIÓN DEL NEGOCIO DE LA DISTRIBUCIÓN ELECTRICA**

El servicio de distribución eléctrica consiste básicamente en distribuir y comercializar la electricidad desde las subestaciones de potencia, lugar donde se enlazan con el sistema de transmisión, hasta los consumidores finales.

En el negocio de la distribución se distinguen tres tipos de servicios que brinda la empresa:

1. El Servicio de Subtransmisión que se provee típicamente a través de una red eléctrica en anillo que rodea la ciudad en que se encuentra la concesión, (este anillo opera en un voltaje intermedio entre el de transmisión y el de distribución). Desde este anillo se baja el voltaje por medio de diferentes subestaciones de distribución, para abastecer de energía eléctrica la ciudad, como ejemplo se puede mencionar que en la ciudad de Morelia existe un anillo de subtransmisión de 115 KV que rodea la ciudad y abastece a 7 Subestaciones de Distribución ( MRD, CPE, ABT, MOI, STG, MOR y MEL), propiedad de la Comisión Federal de Electricidad.
2. El Servicio de Distribución en sí, que consiste en llevar la electricidad al consumidor final por medio de una red de distribución (de media y baja tensión).

3. El Servicio de Comercialización, que consiste en la venta de la energía eléctrica y todas las actividades relacionadas con el cliente final, como lo son: toma de lectura de medidores, facturación, reparto de avisos-recibo, cobranza y atención de público.

Por lo que se refiere a los servicios que brinda la Comisión Federal de Electricidad en el negocio de la distribución de energía eléctrica en México se tienen establecidos los 3 tipos mencionados anteriormente.

En algunos otros países, el marco regulatorio ha evolucionado hasta separar el Servicio de Comercialización del Servicio de Distribución y Subtransmisión. Sí, una empresa comercializadora, no-dueña de una red de distribución, puede comprar energía a las empresas generadoras, pagar los peajes (porteos) de transmisión y distribución, y ofrecerla a los clientes finales, se puede formar competencia en esta actividad; países como Inglaterra y Colombia son ejemplos de este caso.

Se indica que la distribución eléctrica no posee economías de escala, estudios que respaldan esta conclusión evaluaron los costos medios, como la razón entre la anualidad del valor de actualización de las instalaciones más los costos anuales de explotación y la demanda máxima registrada por la red.

La distribución eléctrica es un monopolio natural geográfico, debido a que posee economías de ámbito o densidad, es decir mientras más clientes sean abastecidos con las mismas instalaciones, el costo de abastecer un cliente más cae. Por otro lado si se instalaran dos ó más empresas en la misma área de distribución, el costo de la distribución se incrementaría al doble ó mas respectivamente; pero en la realidad rara vez se presenta el caso de que se superpongan dos redes de distribución.

### **1.3.3.- SISTEMA DE PRECIOS**

Como ya se menciona, anteriormente la distribución eléctrica es un monopolio natural, y por ende sus precios deben ser regulados, sin embargo en la mayoría de los sistemas eléctricos, los precios están regulados para consumidores con cierta potencia; siendo el resto de los consumidores libres de negociar los precios con la empresa de distribución.

Por ejemplo en países como Chile este límite está fijado por la ley en 2 MW, al igual que en Colombia y Bolivia; en Perú, el límite es de 1 MW, en Argentina es de 100 KW y en Inglaterra el sistema está más evolucionado y todos los clientes son libres.

La manera de regular los precios a los pequeños consumidores varía de acuerdo a cada país; un esquema aplicable a todos los casos considera:

Precio Final = precio de compra al sector generación – transmisión +  
precio regulado de distribución.

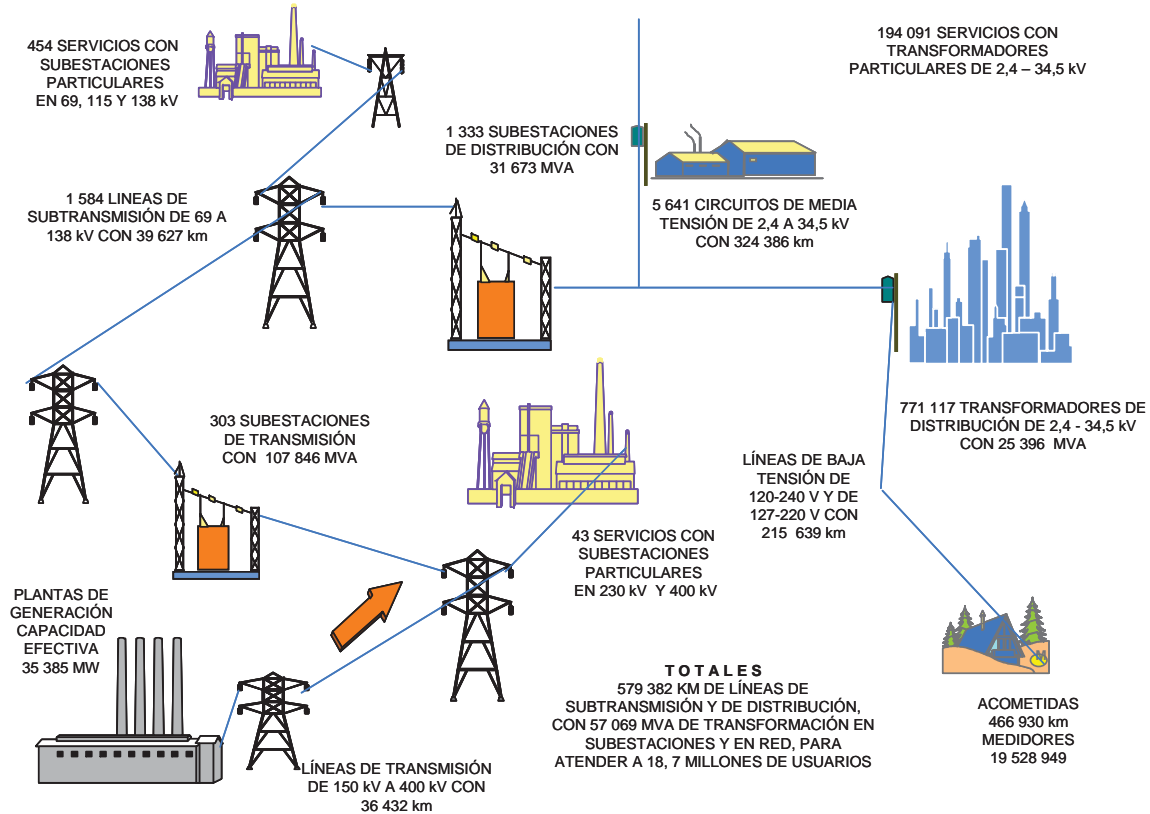
En México se hace la regulación de precios sobre la base de un sistema tarifario de nueve regiones por parte de La Secretaría de Hacienda y Crédito Público y de la Secretaria de Energía dependiente del gobierno federal.

#### **1.3.4.- COSTOS DE LOS PROCESOS DE DISTRIBUCIÓN ELECTRICA**

El servicio de la distribución eléctrica de un Sistema de Distribución clásico tiene su origen en las plantas de Generación hasta llegar al usuario final para su uso respectivo, pasando por diversos procesos, los cuales se muestran en la Figura 1.8.

Dentro de estos procesos del Sistema de Distribución se generan diversos costos que deben ser evaluados.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA



Fuente: Información Básica Nacional (Internet) CFE.  
Figura No. 1.8.

Las razones por las cuales es importante conocer los costos de los procesos que integran al Sistema de Distribución son las siguientes:

- Determinar el costo del producto de cada proceso.
- Hacer el cálculo de costo unitario desde la recepción de la energía en las subestaciones de potencia, durante el transporte alta, media y baja hasta llegar a la conexión de los servicios.

- Determinar las pérdidas de energía con el costo unitario correspondiente.
- Para analizar la suma de actividades, sus valores económicos y poderlos comparar entre zonas.

Los síntomas que se presentan cuando se tiene un sistema de costos ineficiente son:

- Grandes variaciones de costos
- Poco interés de los gerentes hacia presupuestos y reportes de costos
- Demoras y dificultades para obtener respuestas sobre costos
- Márgenes de utilidad que son difíciles o imposibles de explicar
- Productos difíciles de hacer que se reportan como muy redituables
- Grandes e inesperados ajustes de inventarios

Las ventajas que se tienen en un sistema de administración de costos son:

- Pone en evidencia los costos que no agregan valor.
- Identifican los procesos “caros” ó pocos eficientes.
- Hace evidente la necesidad de tener un programa de calidad, de entrega a tiempo, de flexibilidad, de automatización, etc.
- Permite utilizar un sistema de costos a un nivel estratégico.
- Mejora la actuación en la toma de decisiones.
- Permite auditar inversiones de capital.

### **1.3.4.1- COSTEO POR ACTIVIDADES**

Tomando como referencia los aspectos básicos de los costos para aplicarlos a un caso específico del Sistema de Distribución tenemos:

**COSTOS DIRECTOS.-** Consisten en el total de costos de los procesos de negocio que intervienen en el proceso:

- Salarios y prestaciones del personal del proceso
- Vehículos
- Materiales para mantenimiento
- Pagos a terceros por mantenimiento

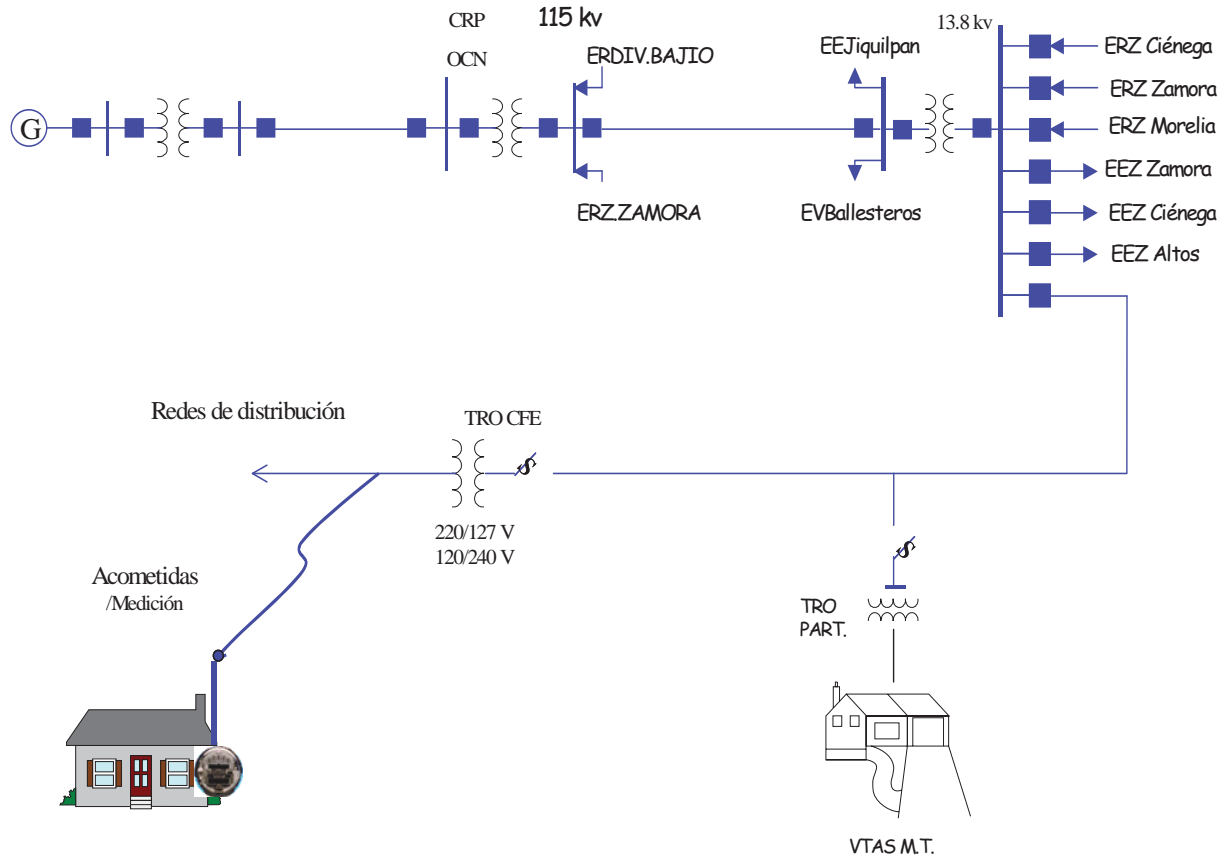
**COSTOS DE PROVEEDORES.-** Consisten en el total de costos de los procesos de apoyo.

**COSTOS TOTALES.-** Es la suma de los costos de los procesos de negocios, procesos proveedores, costos de los activos (depreciación, aprovechamiento, financieros) e indirectos.

**COSTOS UNITARIOS.-** Es la suma de todos los costos entre los kwh totales.

Para ilustrar lo antes expuesto se mostrará el análisis de los costos para el Sistema de Distribución mostrado en la Figura No. 1.9

### Sistema de Distribución



Fuente: Elaboración propia en base a información Básica Divisional CFE.

Figura No. 1.9

Los costos anteriormente mencionados y que se derivan de las actividades de los procesos que integran el Sistema de Distribución mostrado en la Figura No.1.9. Se muestran como ejemplo los contenidos en la tabla No. 1.2.

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

COSTOS PROCESO COMERCIALIZACIÓN BAJA TENSIÓN

Actividad	Porcentaje	Costos			Unitario		
		Directos	Directos + Proveedores	Totales	Directos	Directos + Proveedores	Totales
		<b>23,032,941</b>	<b>29,118,845</b>	<b>49,744,051</b>			
Certificación suministro	27	6,218,894	7,862,088	13,430,894	6.99	8.84	15.10
Facturación	15	3,454,941	4,367,827	7,461,608	3.89	4.91	8.39
Entrega facturas	26	5,988,565	7,570,900	12,933,453	6.73	8.51	14.54
Gestionar cobranza	4	921,318	1,164,754	1,989,762	1.04	1.31	2.24
Cobranza	8	1,842,635	2,329,508	3,979,524	2.07	2.62	4.47
		<b>18,426,352</b>	<b>23,295,076</b>	<b>39,795,241</b>	<b>20.72</b>	<b>26.20</b>	<b>44.75</b>
Desconexiones	3	690,988	873,565	1,492,322	280.55	354.68	605.90
Cortes	1	230,329	291,188	497,441	93.52	118.23	201.97
Cortes y reconexiones	6	1,381,976	1,747,131	2,984,643	190.85	241.28	412.19
Censo postería	1	230,329	291,188	497,441	30.27	38.27	65.38
Alumbrado público	9	2,072,965	2,620,696	4,476,965	174.14	220.15	376.09
Metrología							
Facturas entregadas	889,288						
Desconexiones	2,463						
Cortes	2,463						
Cortes y Reconexiones	7,241				20.72	26.20	44.75
Numero de postes rentados	7,609						
Número de factura de Alumb. Púb	11,904						
Número de Medidores Calibrados							
Trabajadores	47						

Fuente: Elaboración propia con base en: Comisión Federal de Electricidad (CFE), información básica Divisional

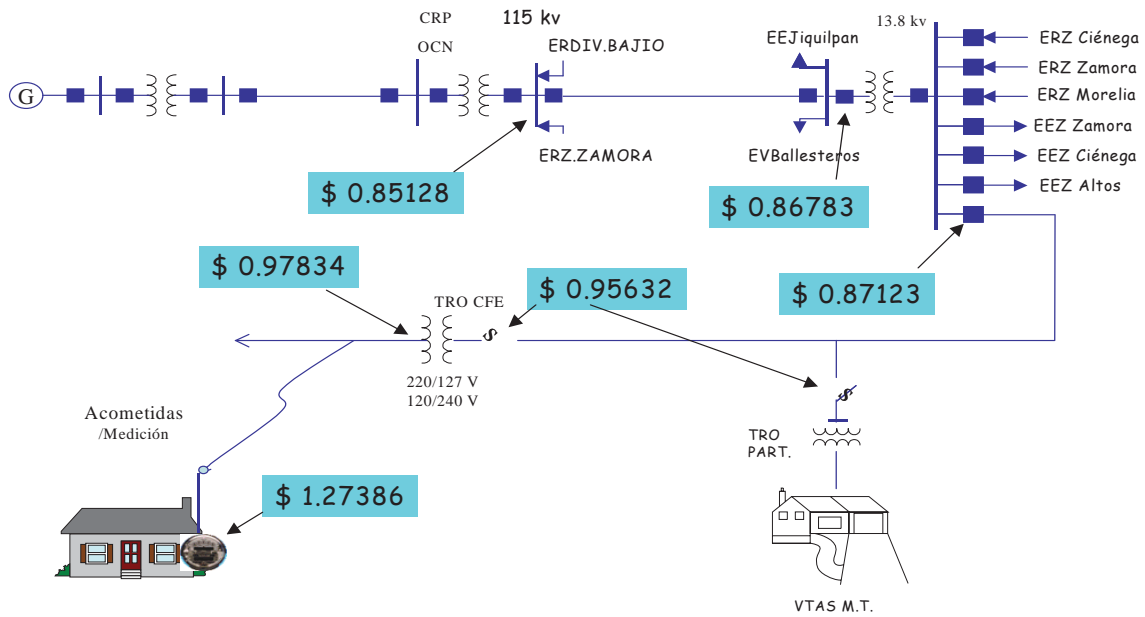
TABLA NO. 1.2

En esta tabla No. 1.2 se pueden apreciar cada una de las actividades que se consideraron dentro del proceso de Comercialización en Baja tensión, los porcentajes y los costos cuantificados.

Los Costos Unitarios Directos mas Proveedores que se determinan en cada uno de los niveles de tensión dentro de un

Sistema de Distribución se muestran en la Figura No. 1.10, destacándose que a medida que se baja en el nivel de tensión se incrementa el costo unitario.

Costos Unitarios Directos + Proveedores

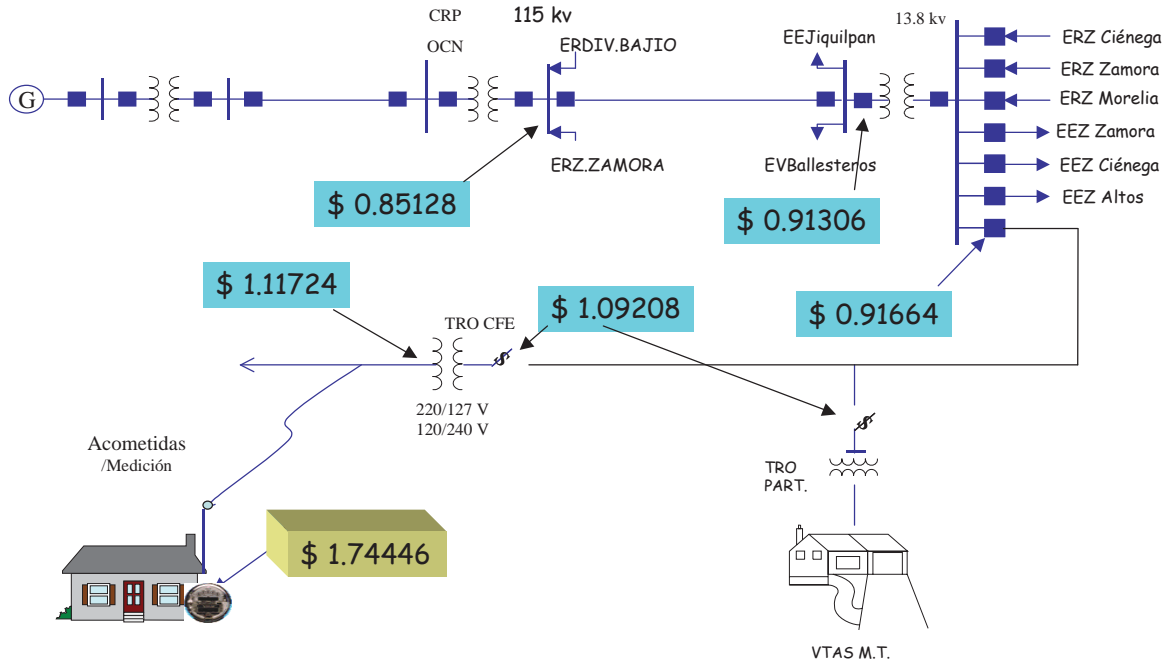


Fuente: Elaboración propia en base a información Básica Divisional CFE.

Figura No. 1.10

De la misma manera se determinan los Costos Unitarios Totales en cada uno de los niveles de tensión en un Sistema de Distribución, mismos que se muestran en la Figura No. 1.11.

Costos Unitarios Totales



Fuente: Elaboración propia en base a información Básica Divisional CFE.  
Figura No. 1.11

Se observa en los valores mostrados en cada uno de los niveles de tensión de la Figura No. 1.11, que se incrementaron los costos unitarios totales en relación a los costos directos + proveedores.

Por lo cual se concluye que con el costeo de las actividades que se desarrollan dentro de los procesos de un Sistema de Distribución se puede evaluar de manera cuantitativa cada una de las actividades, procesos y productos que integran a una Organización (Empresa Eléctrica).

### **1.3.5.- MERCADO DE ENERGÍA**

#### **1.3.5.1.- ANTECEDENTES**

Se tiene que durante las últimas dos décadas y principalmente durante los años 90 se comenzaron a vivir importantes cambios en las organizaciones y en el funcionamiento de los mercados eléctricos mundiales. Las razones que produjeron esta revolución en el sector eléctrico son varias; entre estas se pueden destacar la búsqueda de eficiencia y el desarrollo de nuevas tecnologías en generación que permitieron disminuir las economías de escala.

La reestructuración de los mercados de energía enfatiza la competencia en generación y en los servicios de comercialización. El desafío de las empresas que participan en esta nueva forma de organización es el de brindar un sistema que fomente la libre competencia sin dejar de lado los requerimientos técnicos.

La problemática que acompaña a la generación, transmisión, un adecuado suministro de energía eléctrica y la búsqueda de mayor eficiencia han generado una amplia discusión sobre los beneficios potenciales de privatizar parte del proceso o de reestructurar el funcionamiento de los sistemas eléctricos en el mundo. Las empresas eléctricas se han considerado normalmente como monopolios naturales por los efectos externos que origina la transmisión de energía eléctrica mediante una red de transporte y distribución única,

lo que se traduce en operación vertical de los sistemas eléctricos e implica que una sola empresa suministre la electricidad a un costo mas bajo que el costo en que se incurriría si el servicio es suministrado por más empresas eléctricas. En la actualidad, este argumento ha ido perdiendo fuerza debido, primordialmente a la consideración que la operación de estas redes no presenta economías de escala significativas y puede admitir mayor nivel de competencia.

La característica básica de los procesos de reestructuración de las empresas eléctricas es la separación del monopolio vertical en los sectores de generación, transmisión y distribución. Este desmembramiento permite una separación que diseña los mecanismos adecuados para asegurar la eficiencia y la productividad globales aprovechando las características técnicas y económicas de cada célula en la organización. Existen partes del proceso que admiten una libre competencia para la búsqueda de la eficiencia económica mientras que otros se operan bajo monopolios.

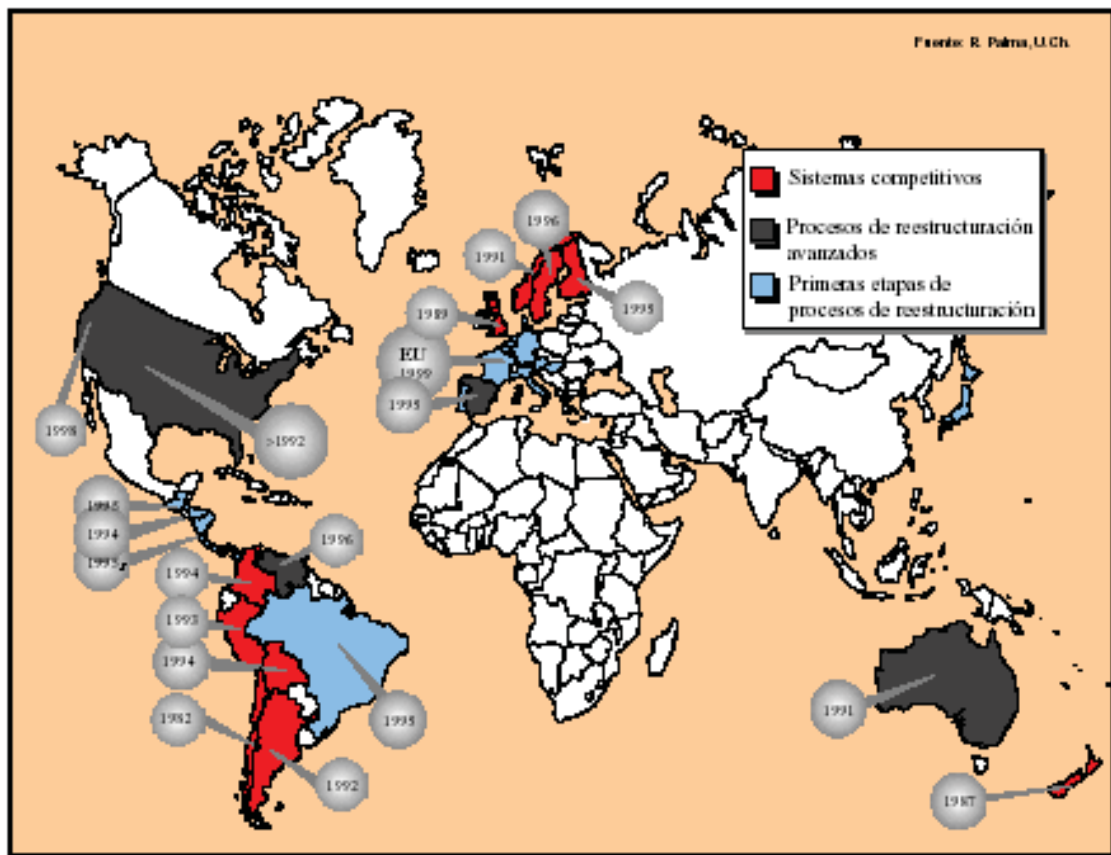
### **1.3.5.2.- LA SITUACIÓN EN EL MUNDO DE LOS MERCADOS DE ENERGIA**

Las razones que han originado los cambios en los mercados eléctricos son variadas entre las que se pueden destacar la venta de activos por parte de los gobiernos a la iniciativa privada para captar recursos, la necesidad de reestructurar empresas al borde de la quiebra o en profundas crisis financieras, el desarrollo de sistemas eléctricos que permitan alcanzar un mayor número de usuarios, ó

simplemente la búsqueda de menores tarifas eléctricas que se reflejen en un aumento de competitividad en aquellas actividades que utilizan este servicio como insumo.

En la Figura No.1.12 se muestra los avances que se han tenido en la reestructuración de los mercados eléctricos en el mundo.

Reestructuración de los Mercados Eléctricos



Fuente: Mercados Eléctricos Raúl Palma Univ. De Chile 2001  
Figura No. 1.12

### **1.3.5.3.- LA ORGANIZACIÓN DE LOS MERCADOS MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD.**

Si bien al interior de los mercados de energía es posible encontrar distintas formas de organizar los intercambios físicos y comerciales entre los agentes que los realizan, las funciones y necesidades que presentan estos mercados son esencialmente las mismas.

Estas funciones se resumen en tres procesos de operación principales:

- La Operación Física.
- La Operación Económica.
- La Operación Comercial.

Los objetivos que se persiguen en la coordinación de la Operación Física suelen ser la estabilidad y confiabilidad del sistema.

El objetivo de la Operación Económica de los sistemas es el de minimizar el costo total del sistema desde el punto de vista social. Este proceso puede organizarse de dos maneras, en forma centralizada o descentralizada, dependiendo de la organización que tenga el mercado.

El objetivo de la Operación Comercial es la de crear y administrar mecanismos que permitan regular los intercambios

comerciales entre los agentes del mercado, como consecuencia de la operación económica.

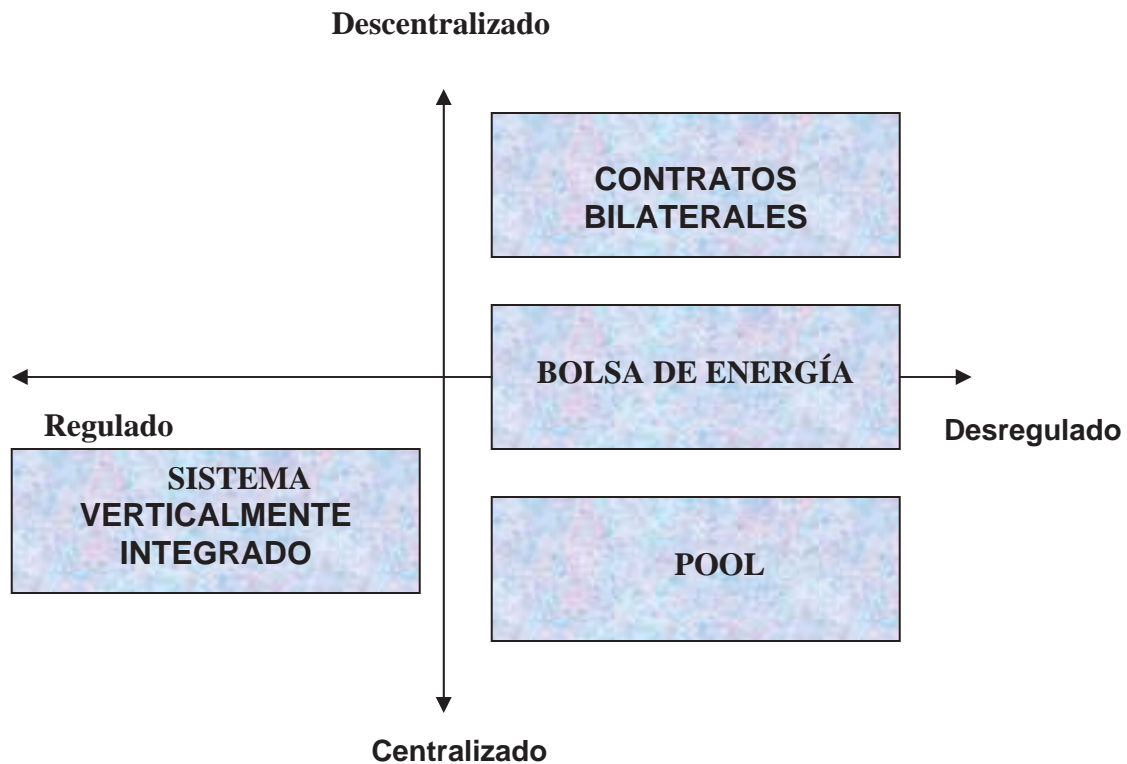
#### **1.3.5.4.- MODELOS DE ORGANIZACIÓN DE LOS MERCADOS MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD**

Con la motivación de obtener sistemas que operen en forma estable, confiable y a un mínimo costo los modelos de organización de los mercados mayoristas de electricidad varían sustancialmente de un caso a otro, dependiendo de manera fundamental de dos factores: Si el mercado está desregulado ó no, ó si el despacho es centralizado o descentralizado.

En la Figura 1.13 se presentan las alternativas de organización que se pueden encontrar en los mercados dependiendo de sus características.

Cabe destacar que las formas de organización y operación mostradas no son mutuamente excluyentes. Y sobre la base de las experiencias alrededor del mundo se observa la creación de mercados de energía que presentan una combinación de modelos, aprovechando las ventajas de cada uno de éstos, en particular en lo que respecta a los espacios de tiempo en que operan.

### Modelos Organizacionales de Mercados Eléctricos



Fuente: Paulo Andrés Atienza Yáñez Univ. De Chile 2001  
Figura No. 1.13

Un Pool es inherentemente un mercado para transacciones físicas, haciendolo apropiado e incluso necesario para operación en tiempo real. Por otro lado las bolsas de energía (BE) y Contratos Bilaterales son esencialmente mercados Forward.

Los diseños que se emplean en cada lugar tienden a estar fuertemente influenciados por el punto de partida del proceso de desregulación., por las condiciones vigentes y por las exigencias a las que debe responder el sistema.

## **1.4.- MONOPOLIOS NATURALES**

### **1.4.1.- MONOPOLIO PURO**

Existe un monopolio puro cuando sólo hay un único productor en un mercado bien definido, donde no hay competidores o rivales directos. Sin embargo, las políticas de un monopolista podrían verse restringidas por la competencia indirecta de todos los bienes, por el dinero del consumidor, así como por la competencia de los bienes que sean sustitutos razonablemente adecuados y por la amenaza de una competencia potencial, si es posible la entrada en el mercado.

Por supuesto, para el producto de un monopolio no hay sustitutos perfectos; si así fuera, el monopolio no existiría, pero si existen los sustitutos imperfectos; y el verdadero poder de mercado de un monopolista depende de la medida en que otros bienes pueden utilizarse como sustitutos en el consumo; por ejemplo, las lámparas de aceite de ballena y de gas, las velas y las linternas son sustitutos muy pobres de la electricidad en la iluminación residencial y comercial. Por lo tanto, se asume que la electricidad para fines de iluminación se aproxima mucho a un monopolio puro.

### **1.4.2.- BASES DEL MONOPOLIO**

El monopolio permanente debe apoyarse sobre bases más firmes para surgir y estas son:

- ✓ Control de los abastos de las materias primas
- ✓ Leyes de patentes
- ✓ Costo de establecer una planta de producción eficiente
- ✓ Franquicia del mercado

El hecho de establecer el que una empresa tenga una producción eficiente, sobre todo en relación con el tamaño del mercado, recibe con frecuencia el nombre de “Monopolio Natural” y surge cuando el costo promedio mínimo de producción ocurre a una tasa de producción más que suficiente para abastecer a todo el mercado a un precio que cubre el costo total. (el monopolio natural existe cuando los costos de producción de una empresa son tales que es mas económico satisfacer la demanda con una sola empresa, que con más de una).

El termino de monopolio “natural” implica simplemente que el resultado “natural” de las fuerzas del mercado es el desarrollo de una organización monopólica.

Los monopolios naturales juegan un papel muy importante en la economía de todos los países dado que existen servicios básicos que

son monopolios naturales, Virtualmente todos los servicios públicos son ejemplos de estos:

Servicios municipales de agua potable, sistemas de drenaje, compañías telefónicas y de gas natural, servicios de transportación, y las empresas de energía eléctrica: transmisión eléctrica, distribución eléctrica (que es un monopolio geográfico ), a escala local, nacional e internacional.

## **1.5.- REGULACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN**

El sector de la distribución eléctrica es un monopolio natural y por tratarse de un servicio básico para toda la población, necesita ser regulado para evitar pérdidas de bienestar social derivadas de precios monopólicos.

### **1.5.1.- CAUSAS DE LA REGULACIÓN**

La competencia perfecta, en la mayoría de los casos es una situación absolutamente irreal; en la que se hacen los siguientes supuestos:

- ✓ La existencia de muchas empresas, sin ninguna dominante, incapaces de influir en los precios.

- ✓ Muchos consumidores, también incapaces de influir en el precio.
- ✓ Productos homogéneos.
- ✓ Libre entrada y salida del mercado.
- ✓ Información suficiente y disponible.

Cada empresa trata de obtener la máxima rentabilidad posible sin preocuparse, al menos directamente, por el bienestar social, y cada consumidor maximiza su propia utilidad, sin preocuparse por los demás; el resultado de estos supuestos es el bienestar social óptimo desde el punto de vista de Pareto (Pareto Óptimo).

En la realidad, estas condiciones no se dan siempre y entonces se requiere de una intervención externa en los mercados para alcanzar el óptimo social.

El caso del monopolio natural que es el más clásico en la economía, se contrapone con el primer supuesto de la competencia perfecta, en el que se señala que deben existir varias empresas incapaces de influir en el precio.

En situaciones como la indicada la regulación se vuelve importante, ya que es una manera de asegurar el bienestar social; la regulación reemplaza la mano invisible de Adam Smith por una mano visible.

El organismo regulador debe actuar a través de la empresa induciéndola a producir lo socialmente óptimo.

La situación ideal es aquella en la cual el organismo regulador tiene información completa y puede entonces ordenar a la empresa, a producir la cantidad socialmente óptima a un precio (óptimo) determinado; sin embargo esta situación, generalmente no se presenta, ya que el organismo regulador no posee la información necesaria para determinar las cantidades óptimas y los precios óptimos rara vez conoce.

Ante esta situación compleja el organismo regulador, debe crear sistemas de incentivos que hagan consistente en la empresa, su deseo de maximizar utilidades, con el bienestar social, tal como ocurre naturalmente en la situación de competencia perfecta.

Para alcanzar el objetivo anterior el organismo regulador debe distinguir la solución de 2 problemas básicos:

- Caracterizar la combinación óptima precio-cantidad que maximiza el bienestar social (El precio es igual al costo marginal en la solución óptima), pero sin que existan pérdidas para la empresa.
- Diseñar un mecanismo regulatorio eficiente para inducir a la empresa a alcanzar la solución óptima (La empresa maximiza utilidad cuando produce la cantidad óptima y vende al precio óptimo).

## **1.5.2.- FALLAS DE MERCADO**

A continuación se da una descripción de las llamadas “fallas de Mercado”, que son las diferentes situaciones en las cuales la asignación descentralizada de recursos no conduce al óptimo social.

### **1.5.2.1.- BIENES PÚBLICOS**

En un mercado de competencia perfecta en el que los consumidores son tomadores de precio, existe un incentivo para revelar la disposición a consumir y pagar por un bien pues existe una situación de rivalidad en el consumo, es decir el hecho que un consumidor utilice un bien, impide el que otro lo haga.

En el caso de los bienes públicos, si alguien se beneficia de un bien, no excluye el que otro también pueda hacerlo. La no rivalidad en el consumo de estos bienes y el elevado costo de exclusión del consumo, genera un incentivo perverso en los consumidores a no revelar su verdadera disposición a pagar por el bien.

Esta situación anómala lleva a que la producción de los bienes públicos sea insuficiente o incluso inexistente. En este caso la intervención del mercado se hace necesaria para asegurar la provisión óptima de bienes públicos. Un ejemplo de bien público es el Sistema de alumbrado público, en el que no se puede excluir del bien a ningún

consumidor, existiendo un incentivo para los consumidores a no revelar su disposición a pagar, dejando así que otros paguen por él.

### **1.5.2.2.- EXTERNALIDADES**

En este caso algunos agentes del mercado pueden afectar a otros mediante mecanismos fuera del mercado, sin que exista una transacción de por medio; a esta situación se le denomina externalidad.

Una externalidad se explica por la ausencia de derechos de propiedad y por lo tanto, por la ausencia de precio sobre el efecto producido. Así el agente causante no incurre en todos los costos o beneficios, llevando a una situación donde la actividad se realiza en exceso o déficit. Las externalidades pueden ser positivas o negativas según si el efecto perjudica o beneficia a la sociedad.

Un ejemplo de externalidad positiva es la calidad de la educación pública, pues el brindar una buena educación a quién no puede pagarla no es un buen negocio, al momento de brindarla, pero tiene un efecto positivo a futuro sobre la sociedad, (al haber personas mas capacitadas) lo que lleva tener una calidad promedio de la educación inferior a la socialmente óptima.

Un ejemplo de externalidad negativa es la contaminación ya que existe una ausencia de derechos de propiedad sobre el aire, por lo

que los agentes contaminantes pueden producir un daño a la sociedad sin incurrir en los costos que ello implica.

### **1.5.2.3.- ASIMETRÍAS DE INFORMACIÓN**

La competencia perfecta asume que todos los agentes tienen acceso a la misma información gratis. Sin embargo este supuesto rara vez se cumple.

El que no todos los agentes tengan acceso a la misma información origina que los individuos no siempre tomen las decisiones óptimas, dando lugar a una asignación ineficiente de recursos.

Esta asignación ineficiente puede llevar a la producción insuficiente o inexistente de un bien valorado positivamente.

Aquí el ofertante posee información sobre su producto, que el consumidor no posee, lo que puede llevar a que no se realicen las negociaciones si las asimetrías son muy grandes.

#### **1.5.2.4.- COMPETENCIA IMPERFECTA**

En esta situación de competencia imperfecta las empresas compiten en:

- Calidad del producto
- Productividad
- Publicidad

Es decir ya no se cumplen los supuestos de que los productos son homogéneos, ni que las funciones de costo de los competidores sean idénticas.

Esta situación lleva a que el beneficio del consumidor sea distinto para diferentes productos, y por ende el que sus precios puedan ser distintos. La mayoría de los productos de consumo se encuentran en este caso. Por lo que las empresas tienen cierto control sobre el precio, lo que lleva a que éste no refleje el óptimo social, y que por lo tanto la producción del bien sea insuficiente.

#### **1.5.2.5.- INTERVENCIÓN GUBERNAMENTAL**

En este caso de intervención gubernamental el estado impide la competencia en un mercado. Esta situación se presenta como ejemplo en las patentes otorgadas por la innovación tecnológica.

### **1.5.3.- POLÍTICAS REGULATORIAS**

A pesar de que en un mercado pueda existir un alejamiento del óptimo social, la conveniencia de efectuar la regulación depende de 3 factores:

- i. Del grado de alejamiento del óptimo social que se tenga en ausencia de la regulación.
- ii. La existencia de barreras de entrada a la industria.
- iii. Si la empresa es un monopolio natural fuerte o débil.

#### **1.5.3.1.- BARRERAS DE ENTRADA**

Las barreras de entrada tienen una implicación fundamental en el contexto de los monopolios naturales.

Aquí se presenta el dilema fundamental de los monopolios naturales; si se le otorga libertad a la empresa para fijar sus precios, esta solución resulta en una pérdida de bienestar social, pero por otro lado si se le obliga a fijar precios a costo marginal, esto deriva en que la empresa no es sustentable ya que incurre en pérdidas.

Una solución posible a este problema, es subsidiar a la empresa para que ésta pueda fijar precios a costo marginal.

Otra solución planteada (Frank Ramsey) es la de cobrar un precio tal que la empresa obtenga cero ganancias.

En ausencia de barreras de entrada, no importando si la empresa es un monopolio natural fuerte o débil, no le queda otra opción que cobrar un precio con el que obtenga cero ganancias (Precios Ramsey), ya que de otra forma los excesos en las utilidades atraerán a empresas desafiantes que expropiarán la utilidad de la empresa. Más aún si la empresa es un monopolio natural débil, la regulación debe de ir orientada a protegerla de los competidores potenciales, ya que estos pueden expropiar toda la ganancia de empresa no obstante que ésta maximiza el bienestar social.

#### **1.5.4.- REGULACIÓN POR DESEMPEÑO (BENCHMARK REGULATION)**

En la actualidad el interés en la regulación por desempeño refleja un creciente reconocimiento de que la regulación gubernamental está limitada en sus logros.

Las empresas que son objeto de la regulación, casi siempre están mejor informadas que los organismos reguladores, sobre sus costos y consecuencias de adoptar esquemas regulatorios particulares y detallados para los precios y condiciones de servicio.

Un objetivo importante, para la regulación, mas que conformar esquemas regulatorios basados en ser un ente regulador omnisciente,

capaz de fijar precios óptimos, basados en un conocimiento cabal de la demanda y de los costos, es el de crear mecanismos de incentivos para la empresa que la lleven a maximizar los objetivos de la sociedad (eficiencia, bienestar social, distribución) a través del logro de sus propios intereses.

Existen 2 metodologías regulatorias que pretenden lograr ese objetivo y son:

- ✓ Metodología Price Cap
- ✓ Metodología Yardstick Competición

El mecanismo regulatorio Price Cap (índice de precios RPI-X) constituye un sistema de incentivos capaz de lograr eficiencia por parte de la empresa en cuestión.

Por lo que respecta a la metodología Yardstick Competición se trata de comparar por parte del organismo regulador empresas reguladas con similitudes entre si para inferir niveles de costos que se puedan alcanzar para la nueva empresa en cuestión.

#### **1.5.4.1.- METODOLOGÍA PRICE CAP (INDICE DE PRECIOS).**

Esta metodología pertenece al grupo de esquemas regulatorios que hacen énfasis en la eficiencia económica de la asignación de los recursos. Al enfatizar la eficiencia, este mecanismo pretende eliminar los incentivos perversos que establecen los esquemas de tasa de retorno sobre aquella. Este esquema consiste en fijar un techo al crecimiento de la tarifa, donde el techo se mueve de acuerdo a la inflación (RPI del inglés Resale Price Index), menos un factor "X" que es proyección de la tasa de incremento de la productividad.

Este factor "X" es ajustado periódicamente generalmente cada cuatro o cinco años. De esta manera, al hacer énfasis en la tasa de incremento en los precios y no en la tasa de retorno, la firma tiene mayores incentivos para operar eficientemente porque se verá inducida a obtener beneficios en la medida que reduzca sus costos.

Este sistema tiene la ventaja de que es relativamente simple de implementar, y reduce la carga de las agencias regulatorias de obtener información acerca de costos y beneficios.

No obstante, este esquema no define los criterios a través de los cuales se modifica el factor "X", lo cual genera la posibilidad de comportamiento oportunista tanto del regulador como de la empresa regulada.

En efecto, la experiencia ha demostrado que en los países donde se ha implementado este tipo de mecanismos, debido a lo incompleto del contrato, la regulación se ha transformado en un juego cada vez más discrecional, con procesos continuos de negociación, incorporando una indeseable inestabilidad al marco regulatorio.

#### **1.5.4.2.- METODOLOGÍA YARDSTICK COMPETITION.**

En esta metodología el organismo regulador compara empresas reguladas similares entre si para inferir un nivel de costos alcanzable para la empresa en cuestión; Obviamente el mecanismo funciona mejor si las empresas a comparar son idénticas. El organismo regulador puede forzar a las empresas en diferentes mercados a competir, así si una de las empresas reduce costos y la otra no, la primera empresa obtiene utilidades positivas, y la segunda negativas.

En el caso de que las empresas a comparar no sean completamente idénticas, la metodología Yardstick funciona mejor que la regulación por costo del servicio.

El modelo propuesto por Andrei Schleifer sobre el que se plantea la regulación tiene las siguientes características y supuestos:

a) Características:

- ✓ Modelo de un período regulatorio
- ✓ Existen “N” empresas idénticas neutrales al riesgo, que deben ser reguladas.
- ✓ Ambiente sin incertidumbres
- ✓ Cada empresa enfrenta una demanda con pendiente negativa “q(p)” en mercados separados.
- ✓ Si las demandas en cada mercado son idénticas, no es necesario conocerlas para implementar la metodología. Si son distintas, el modelo solo puede aplicarse si cada demanda es conocida por el organismo regulador.
- ✓ Cada empresa posee un costo marginal inicial “ $C_0$ ” reducible a “C” con un costo de  $R(C)$ ,  $R(C_0) = 0$ ,  $R'(C) < 0$ ,  $R''(C) > 0$ . Estas condiciones aseguran que mientras más grande es la inversión menor es el costo unitario final.

Dado que los costos de reducción de costos son fijos. La empresa tiene costos medios decrecientes. Para resolver esta problemática, se introduce una variable “T” que sería un pago transferido a la empresa, que hace posible alcanzar el óptimo social sin que la empresa pierda dinero.

En el modelo la utilidad de la empresa está dada por la siguiente expresión:

$$U = (p - C) * q(p) + T - R(C)$$

Donde  $T$  es el pago transferido a la empresa por el organismo regulador. El modelo asume que el pago a la empresa se podría recolectar de impuestos, y no se preocupa por la distribución del dinero entre la empresa y los consumidores.

b) Supuestos:

- Las empresas son conducidas por gerentes que maximizan utilidades.
- El organismo regulador maximiza el bienestar social dado por el beneficio de los consumidores, más la utilidad de la empresa, sus instrumentos son los precios y pagos transferidos a la empresa.
- La empresa siempre produce para satisfacer la demanda.
- El organismo regulador no conoce  $R(C)$  a priori.

El organismo regulador sigue un conjunto de pasos que se indican a continuación:

- El organismo regulador anuncia su regla para fijar precios y pagos transferidos a la empresa.

- Las empresas invierten en reducción de costos.
- El organismo regulador observa C y R(C).
- Con esta información se fijan los precios y pagos transferidos a la empresa.
- La empresa produce, vende al precio fijado, y recibe sus pagos.

#### 1.5.4.2.1.- YARDSTICK COMPETITION ENTRE EMPRESAS IDÉNTICAS

Para cada empresa “i” se define:

$$\bar{C}_i = \frac{1}{N-1} * \sum_{j \neq i} C_j$$

$$\bar{R}_i = \frac{1}{N-1} * \sum_{j \neq i} R(C_j)$$

Estas ecuaciones representan los costos marginales, y costos de reducción de costos de la empresa sombra asignada a la empresa “i”. Estos costos corresponden a los costos promedio de las otras N-1

empresas, y sirven como patrón para implementar la metodología Yardstick Competición.

El organismo regulador define la siguiente regla:

$$T_j = \overline{R}_i$$

$$p_i = \overline{C}_i$$

Donde las formulas anteriores sirven para fijar los precios y pagos transferidos a la empresa, el único equilibrio (Nash) es el óptimo social, es decir cada empresa reduce costos hasta tener  $C_i =$  costo marginal.

Esta metodología funciona, ya que no deja que los costos ineficientes escogidos por la firma influyeran el precio y el pago obtenido por ésta.

#### **1.5.4.2.2.- YARDSTICK COMPETITION CON OTROS SUPUESTOS**

- i. El organismo regulador puede transferir pagos a la empresa.
- ii. El organismo regulador observa características exógenas que hacen heterogéneas a las empresas.

En el primer supuesto el organismo regulador debe compensar a la empresa por los gastos realizados en la reducción e costos, permitiendo un precio más alto.

En el segundo se presentan dificultades al asumir que las características exógenas omitidas no se correlacionan, y que en la práctica las empresas pueden tener control sobre alguna de éstas.

# CAPITULO 2

## EFICIENCIA ECONOMICA

### 2.1.- EFICIENCIA

#### 2.1.1.- CONCEPTOS DE EFICIENCIA

Tradicionalmente el concepto de Eficiencia se ha relacionado únicamente con la productividad, aludiéndose al rendimiento físico promedio, a la inversión en recursos y al costo promedio de una actividad o programa (costo / efectividad, esfuerzo / resultado, costo/beneficio).

La eficiencia es un concepto utilizado para referirse a la relación existente entre el trabajo planificado y el ejecutado, que toma en cuenta el tiempo, la inversión económica, el personal asignado y los recursos materiales.

La eficiencia, generalmente en las empresas se mide en los planes operativos de corto plazo (mensuales o trimestrales, por ejemplo), contruidos para cumplir con los objetivos específicos de los proyectos.

Un rendimiento eficiente es aquel que crea productos con menos insumos. Y que tiene que ver con el reconocimiento de las

habilidades y destrezas del personal para realizar una buena distribución de responsabilidades, la identificación de los recursos didácticos y técnicos mejor adaptados a las necesidades del proyecto, y con la posibilidad de optimizar los recursos dentro del tiempo estimado.

Se debe tener presente que para trabajar hacia la equidad hay que agregar nuevos insumos, recursos y presupuestos y es esta, una de las razones que argumentan los proyectos para no aplicar el enfoque de género en sus trabajos.

Sin embargo la valoración de la eficiencia también debe tomar en cuenta el beneficio, costos y resultados a largo plazo y la sostenibilidad de los esfuerzos y metas propuestas. No se debe perder de vista el tipo de desarrollo que se busca y reconceptualizar la eficiencia retomando como punto de partida la equidad.

### **2.1.2.- EFICIENCIA ECONOMICA**

En la mayoría de las empresas, la eficiencia económica es el factor primordial que determina el tipo de sistema empleado. No existen muchas personas dispuestas a dedicarse a una actividad sin percibir una remuneración en dinero que se considere satisfactoria.

Todos deben luchar por satisfacer las necesidades básicas para asegurar la existencia (pan, techo y abrigo como mínimo) y la mayoría se esfuerzan para conseguir ingresos adicionales que faciliten el obtener un cierto nivel de comodidad en la vida.

Las leyes de la economía exigen que cada actividad tenga su ganancia para que ellas sean sustentables.

Otros factores que se encuentran muy ligados a la eficiencia y que por ende también deben tomarse en cuenta, según las condiciones específicas de cada caso, son la estabilidad de la empresa, el nivel de riesgo, el crecimiento y desarrollo de la explotación y metas específicas impuestas por el dueño y/o los accionistas.

El término eficiencia económica es mal empleado muy frecuentemente ya que se ignora el significado de este concepto.

Alta eficiencia económica NO SIGNIFICA tener costos muy bajos.

Alta eficiencia económica NO SIGNIFICA una altísima producción.

Alta eficiencia económica NO SIGNIFICA una máxima eficiencia biológica.

La eficiencia económica cambia continuamente en función de las fluctuaciones en los precios y los costos. Por lo tanto, es imposible definir "el sistema" óptimo en forma permanente.

### 2.1.2.1.-INDICADORES DE EFICIENCIA ECONOMICA

Existen varios indicadores de eficiencia económica , los cuales se describen a continuación:

- a) El "Beneficio Neto" (BN)
- b) El "Beneficio Bruto" (BB)
- c) La "Renta" (R)
- d) El "Ingreso por Manejo e Inversión" (IMI)
- e) El "Margen Bruto" (MB)

El Beneficio Neto es un indicador de eficiencia económica muy exacto. El BN estima el beneficio que es percibido por la empresa después de pagar todos los costos de operación (efectivos y no efectivos).

El indicador **BN** representa un índice de la eficiencia económica que permite una serie de comparaciones válidas entre diferentes y diversos sistemas. No obstante, no es un indicador perfecto.

El BB se puede calcular en forma sencilla y rápida con el propósito de averiguar la cantidad de dinero "producido" por la empresa (el dueño y su familia), después de pagar todos los costos reales ocurridos durante en el proceso de producción.

El calculo del indicador **BB** es el siguiente:

$$BB = VENTAS - COSTOS$$

La renta es un indicador bien específico y no debe ser confundido con la rentabilidad. Este último es un término muy general que incluye diversas medidas de eficiencia económica.

La renta es un cálculo más confiable que el BB, porque incluye tanto la producción vendida como la producción invisible (no efectivo).

En el lado de los costos, al calcular este índice se deduce la depreciación (costo invisible), con lo cual el resultado de su cálculo proporciona un indicador más fiable que el BB.

El cálculo del indicador Renta (**R**) es el siguiente:

**(R)** = Ventas + Auto-consumo + Cambio inventario - Costos efectivos - Depreciación.

El **IMI** representa la ganancia generada en la empresa, en forma conjunta, por el esfuerzo gerencial (manejo) y el capital total invertido en la empresa (tanto propio como prestado).

El Margen Bruto (**MB**) es un indicador de eficiencia económica muy sencillo. Si bien esto tiene ventajas, también implica ciertas limitaciones en el uso del MB como un indicador de eficiencia económica.

## **2.2.- FACTORES DE LA EFICIENCIA ECONOMICA**

### **2.2.1.- CONCEPTOS**

Como ya se menciona anteriormente, desde hace varias décadas han surgido múltiples enfoques acerca de la formulación y el cálculo de fronteras de producción y costos, como una aproximación a la estimación de la eficiencia económica de las empresas.

Farrell (1957) inspirado en el trabajo de Debreu y Koopmans (1951) obtiene una medida de eficiencia económica total, separándola en dos componentes:

- Eficiencia técnica.
- Eficiencia de asignación de precios.

La eficiencia técnica refleja la capacidad de una empresa para obtener las máximas salidas a partir de unas entradas dadas.

Y la eficiencia de asignación, es la que refleja la capacidad de la empresa para utilizar las entradas en proporciones óptimas, dados sus respectivos precios.

Estas 2 medidas son entonces combinadas para proporcionar una medida de eficiencia económica total.

El trabajo pionero del mencionado autor se centra en el análisis de la eficiencia técnica, aduciendo que en lo que se refiere a la eficiencia de asignación de precios está determinada por la influencia que ejercen las empresas mismas en el mercado. Según Farrell una empresa es técnicamente eficiente si no existe ninguna otra combinación (convexa) de insumos de los que ésta requiere.

### **2.2.2.- MEDIDAS DE EFICIENCIA ORIENTADAS A ENTRADAS**

Las ideas originales de Farrell se ilustraron en el espacio de entrada / entrada, teniéndose un enfoque de “reducción de entradas”, dándosele el término de medidas orientadas a entradas.

Para lo anterior se usó un simple ejemplo que incluía a empresas, las cuales usaban 2 entradas o factores de producción ( $x_1$  y  $x_2$ ) para producir una sola salida o producto (Y), generado bajo la consideración de “rendimientos constantes a escala”.

El supuesto de rendimientos constantes a escala permite que toda la información relevante sea presentada en una isocuanta.

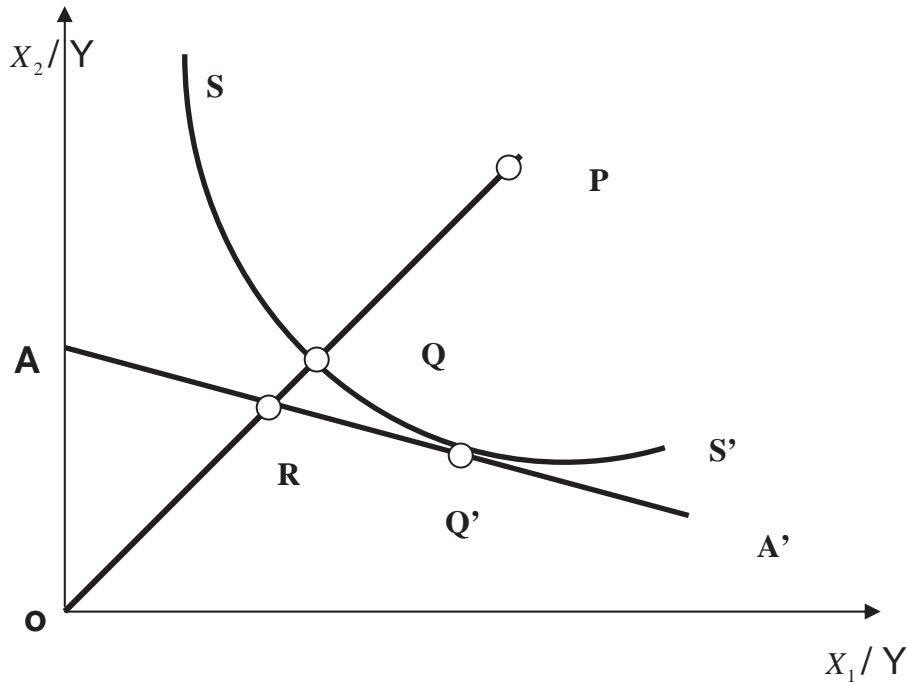


Figura No. 2.1

Fuente: Ciencia Nicolaita No. 35 La evaluación de la eficiencia 2003

En la Figura No. 2.1, La isocuanta  $SS'$  representa las combinaciones posibles de los dos factores que la empresa más eficiente podría requerir para producir una unidad de producto.

El punto  $P$  representa los insumos de los 2 factores por unidad de producto que necesita la empresa. La ineficiencia técnica de esa empresa es representada por la distancia  $QP$ , la cual es la cantidad de todas las entradas que deben ser proporcionalmente reducidas sin que se tenga una reducción en la salida, esto usualmente es expresado en términos de porcentaje por la razón  $QP / OP$ .

El punto Q representa una empresa eficiente que usa los 2 factores en la misma proporción que la empresa operando en el punto P, ya que caen sobre la isocuanta eficiente.

La eficiencia técnica de una empresa es definida por la razón  $OQ / OP$ .

$$\text{Eficiencia Técnica} = OQ / OP$$

Y su complemento es igual a:  $(1 - (QP / OP))$ , tomando valores entre cero y uno. Proporcionando entonces un indicador del grado de ineficiencia técnica de la empresa.

Un valor de uno indica que la empresa es completamente eficiente técnicamente.

La eficiencia técnica es una medida de eficiencia que relaciona la combinación de factores de la empresa en P con una combinación teórica de factores que utilizaría la empresa más eficiente existente en el mercado en esos momentos.

Si la razón de entradas de precios, representadas en la Figura No 8 por la línea AA' (línea de isocostos) es también conocida, la eficiencia de asignación también puede ser calculada.

Esto es, se necesita una medida que nos explique cuándo una empresa usa los factores de la producción en las mejores proporciones, de acuerdo a sus precios.

Sí la línea de isocostos tiene una inclinación igual a la razón de los precios de los 2 factores, el punto Q' y no el Q será el método óptimo de producción.

La empresa en P producirá a un costo igual a R si hubiese escogido adecuadamente las técnicas y la proporción de factores correctos. Donde la distancia RP puede también ser interpretado en términos de reducción de costos.

La razón  $OR / OQ$  mide lo que Farrell llama eficiencia asignativa o de asignación de costos y como tal se refiere a la selección apropiada (o inapropiada) de la combinación de insumos.

$$\text{Eficiencia de asignación de costos} = OR / OQ$$

Finalmente para Farrell, la eficiencia total es igual al producto de la eficiencia asignativa y la eficiencia técnica.

Eficiencia económica total = Eficiencia Asignativa x Eficiencia Técnica

$$OR / OP = (OR / OQ) \times (OQ / OP)$$

Se indica que las 3 medidas de eficiencia tienen límites entre cero y uno.

Estas medidas de eficiencia consideran que la función de producción eficiente de una empresa es conocida completamente, pero esto en la práctica no sucede así.

Dado que la función de producción eficiente estará representada por isocuantas, Farrell determino estimar la isocuanta de la empresa más eficiente, para ello estimo una línea como la que se muestra en la Figura No. 2.2, que envuelve los puntos localizados en el plano de producción.

Farrell supone que la isocuanta eficiente es convexa al origen y que sí en la práctica es posible alcanzar dos de esos puntos, también lo es obtener un punto que represente el promedio ponderado de dos de las empresas más eficientes; la ponderación de cada punto se determina de forma que se obtenga la proporción de factores deseada.

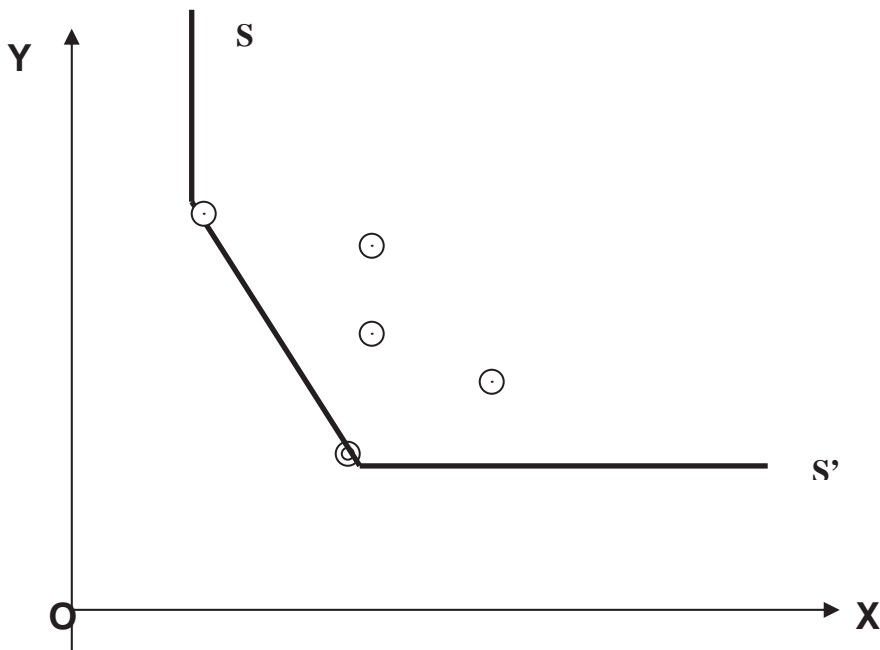


Figura No. 2.2

Fuente: Ciencia Nicolaita No. 35 La evaluación de la eficiencia 2003

### 2.2.3.- MEDIDAS DE EFICIENCIA ORIENTADAS A SALIDAS

Bajo esta perspectiva de la medida de eficiencia orientada a la salida nos debemos de cuestionar ¿qué cantidad de las salidas se incrementarán proporcionalmente sin alterar la cantidad de entradas utilizadas?, lo que nos lleva a concluir que esta es una medida contraria a la medida de eficiencia orientada a la entrada.

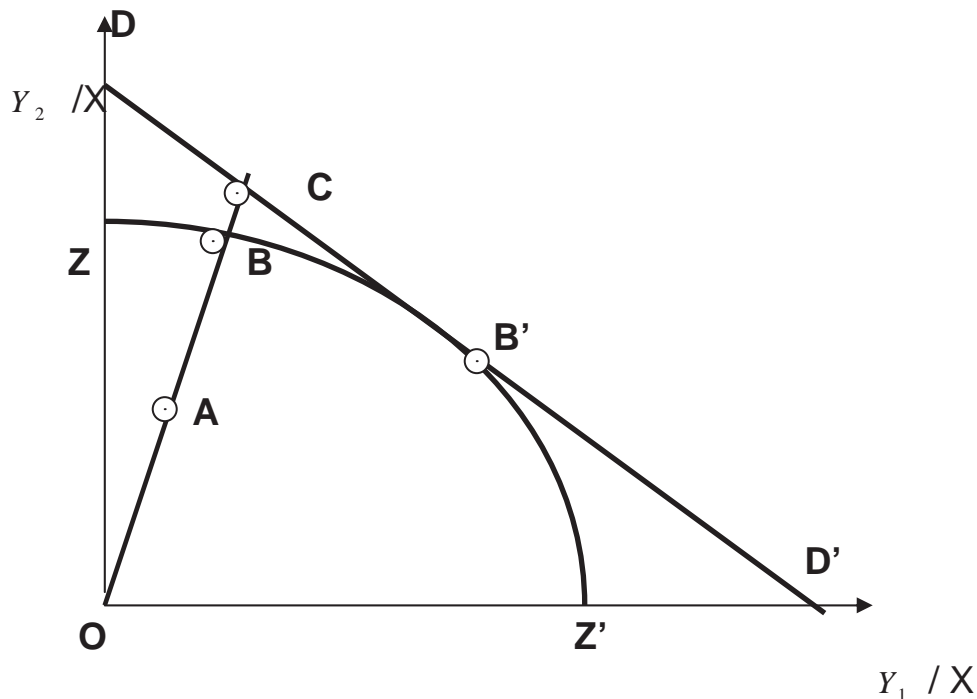


Figura No. 2.3

Fuente: Ciencia Nicolaita No. 35 La evaluación de la eficiencia 2003

En la Figura No. 2.3 la línea  $ZZ'$  es la curva de la unidad de producción posible, y el punto  $A$  corresponde a una empresa ineficiente. Notándose que el punto de ineficiencia,  $A$ , cae debajo de la curva en este caso porque  $ZZ'$  representa el límite superior de las posibilidades de producción.

La distancia AB representa la ineficiencia técnica. Siendo esta, la cantidad de salidas que deben ser incrementadas sin requerir entradas adicionales.

Pudiéndose obtener también los 3 tipos de eficiencia que en el caso anterior.

Teniéndose que la eficiencia técnica es:  $OA / OB$

La línea DD' define la eficiencia de asignación, con lo cual será:  $OB / OC$ .

La eficiencia económica total es:

$$(OA / OC) = (OA / OB) \times (OB / OC)$$

Donde las 3 medidas están limitadas por cero y uno.

Se indica que todas las medidas de eficiencia son tomadas a partir de un radio con punto en el origen hasta el punto de producción observado. Por lo que todas ellas mantienen las proporciones relativas de entradas (o salidas) constantes.

Una ventaja de estas medidas de eficiencia radial, es que estas son unidades invariantes. Esto es, cambian las unidades de medida (por ejemplo cantidad de trabajo en horas por persona en lugar del de años por persona), pero no cambiarán los valores de la eficiencia medida.

# CAPITULO 3

## FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DEL DEA

### 3.1 CONCEPTOS.

#### 3.1.1.- METODOLOGÍA DE LOS MODELOS FRONTERA

DEA (Data Envelopment Analysis: Análisis de la Frontera de Datos ), es el método que ha sido establecido como una de las metodologías más avanzadas para realizar la medición de la eficiencia.

Esta eficiencia es generalmente representada por alguna forma de función de frontera.

En los pasados 40 años las funciones de frontera han sido estimadas usando muchos métodos diferentes.

Los 2 métodos principales son:

- Método DEA (Data Envelopment Analysis: Análisis de la Frontera de Datos ).
- Método de Fronteras Estocásticas.

Los cuales involucran programación matemática y métodos de aproximación econométricos (funciones logarítmicas y translogarítmicas) respectivamente.

DEA es un modelo de estimación no paramétrica para generar fronteras eficientes de producción, en las cuales son ubicadas las unidades mas eficientes, derivadas de evaluar las llamadas unidades de toma de decisión DMU's (Decisión-Making Units).

En los modelos DEA la eficiencia es medida usando la relación de la agregación de las entradas y la combinación de las salidas.

Basado en lo definido por Charnes et al., se dice que una DMU es eficiente si no es posible aumentar el nivel de una salida sin aumentar el uso de al menos una de las entradas ó disminuir al menos una de las salidas.

De forma contraria una DMU es ineficiente si la cantidad de producto puede ser aumentada, así como si los insumos requeridos pueden ser disminuidos.

Deduciéndose entonces que un punto eficiente debe estar situado en la frontera del conjunto de posibilidades de producción.

Señalándose por lo tanto que la metodología DEA ha llegado a ser una práctica muy apropiada en varios contextos.

Como solución alternativa al problema de eficiencia técnica esta el Método DEA (Data Envelopment Analysis: Análisis de la Frontera de Datos o por su nombre en inglés Análisis de la Envoltente de Datos).

Esta técnica no hace suposiciones a priori de las funciones de producción y costos, de tal manera que la eficiencia relativa solamente es calculada a partir de la información de producción y costos observados.

La denominación de Envoltente proviene del hecho de que es posible definir un conjunto de posibilidades de producción que contiene a todas las DMU's que se comparen. Esto es, una  $DMU_k$  es pareto eficiente si no existe ninguna otra DMU que pueda producir más que ella en por lo menos uno de los productos, sin producir más en algún otro o requiriendo más de por lo menos uno de los insumos empleados.

En general, cualquier combinación lineal de DMU's eficientes sirve como punto de referencia para la medida de la ineficiencia relativa de cualquier otra  $DMU_k$  ineficiente.

El método DEA calcula la eficiencia de unidades organizacionales homogéneas, denominadas DMU's, que usan los mismos insumos para producir los mismos resultados. Toma los valores observados de insumos y productos para conformar un

espacio de posibilidades de producción, contra el cual las unidades individuales son comparadas, con el fin de determinar su eficiencia.

Se trata entonces, de una técnica de optimización lineal no paramétrica, construida para medir el comportamiento relativo de diferentes empresas multiproducto (casos con múltiples entradas y múltiples salidas). Siendo una de sus características, el permitir estimar del grupo de DMU's la importancia relativa de las entradas y las salidas.

La técnica DEA convierte los diversos insumos y productos a un solo insumo y a un solo producto equivalentes, mediante la asignación de pesos con respecto a la importancia relativa de cada uno de dichos insumos o productos, que son determinados de manera endógena.

La utilización de la técnica DEA se ha enfocado al campo de la producción para poder medir la eficiencia o, en su caso, para proporcionar las estimaciones necesarias sobre la productividad.

En este sentido, si tomamos la definición de productividad utilizada en los modelos frontera está dada por Mercado et al (1997):

$$\text{Productividad} = \text{Total de salidas} / \text{Total de entradas}$$

De forma mas general se tiene que:

$$E = \text{Salidas} / \text{Entradas} = \text{Salidas Ponderadas} / \text{Entradas Ponderadas}$$

La técnica DEA supone la generalización del concepto de eficiencia de Farrell para cada DMU, como la razón máxima de la suma de sus productos ponderados con respecto a la suma de los insumos ponderados, donde dichos pesos ponderados son determinados por el modelo mismo:

$$E = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}}$$

Donde:

“E” representa la eficiencia,

$x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$  son las “m “ entradas y  $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$  son las “s” salidas de la unidad “J “.

$v_1, v_2, \dots, v_m$  son las ponderaciones relativas de las entradas.

$u_1, u_2, \dots, u_s$  son las ponderaciones relativas de las salidas.

El principal problema de evaluación de la eficiencia se terminaría si el analista conociera de antemano la ponderación relativa de cada una de las entradas y salidas. Pero en la realidad esta información es, en general desconocida.

La evaluación de la eficiencia usualmente involucra múltiples entradas y salidas, para lo cual deberán seleccionarse éstas atendiendo a la definición del problema objeto de estudio.

La aplicación del método DEA ha permitido evaluar los supuestos de retornos a escala en casos de empresas con múltiples insumos o múltiples productos.

Su aplicación inicial se dio en el caso de DMU's de sectores públicos, donde el desempeño de sus unidades no está sujeto a una estructura gobernada por precios de mercado y no se persigue el objetivo de incrementar al máximo las utilidades.

### **3.1.2.- DESARROLLO DE UN MODELO DEA**

Golany y Roll et al (1989) plantean las tres principales fases que se deben de seguir en el desarrollo de un modelo DEA, cada una de las cuales comprende a su vez diferentes pasos.

Estas fases son:

- i. Definición y selección de cada una de las DMU que van a ser incluidas en el análisis.
- ii. Determinación de los insumos y productos relevantes y accesibles en el análisis.
- iii. Aplicación de los modelos DEA determinados y análisis de los resultados.

Metodológicamente la estructura de la investigación de los modelos DEA, en la que se contemplan estos aspectos y elementos adicionales que conllevan no solamente al análisis de la productividad a partir de esta técnica, sino a la propuesta de alternativas para mejorar la eficiencia se ilustra en la Figura No. 3.1 Lo, et al., (2001).

Adicionalmente, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones al aplicar un modelo DEA.

- Propiedad de no negatividad de las variables. En caso de valores negativos, se deben de transformar.
- Propiedad de isotonicidad. En caso de un incremento en una entrada debe verse reflejado en el aumento proporcional y no al contrario, Charnes, Cooper y Golany et al (1985). Si no se cumple con esto se pueden transformar usando el complemento o recíproco, Bowlin et al (1998).
- Independencia entre las variables, tanto entre insumos como entre productos. Garantiza que a una variable no se le esté dando una mayor importancia o peso más que proporcional al nivel de correlación.
- Selección en cuanto a la orientación del modelo. Refleja el tipo de resultados que se quieren conseguir; definiendo de antemano cuales de los 2 grupos de variables, insumos o productos es determinante para explicar la eficiencia relativa de las DMU's.
- Las DMU's deben ser homogéneas en cuanto a su funcionamiento, o sea que puedan establecer comparaciones en igualdad de condiciones.

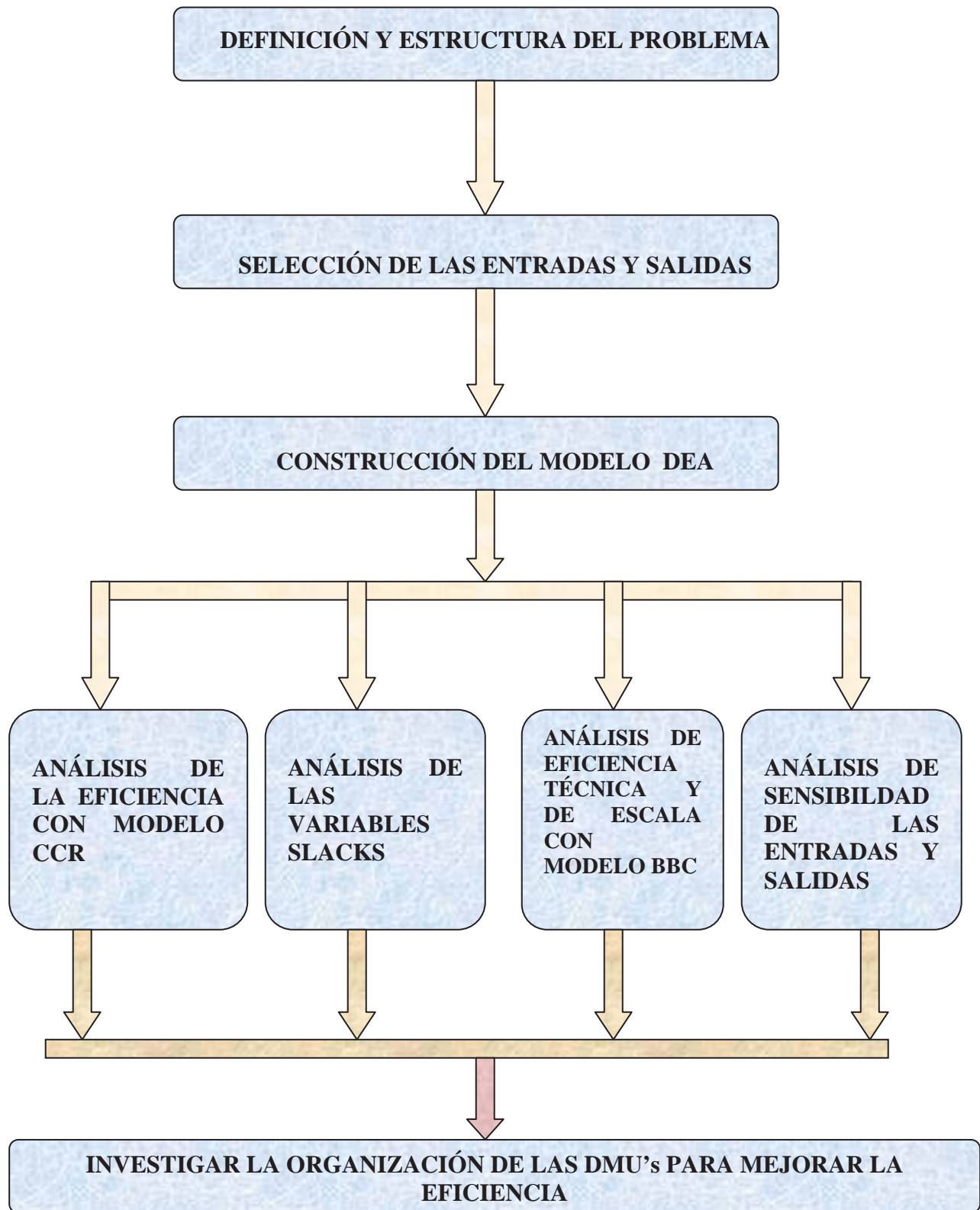


Figura No. 3.1

Fuente: Ciencia Nicolaita No. 35 La evaluación de la eficiencia 2003

### **3.1.2.1 EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN**

En virtud del objetivo que tienen todas las empresas de aumentar al máximo todas sus utilidades, éstas buscan usualmente producir tanto como sea posible con los recursos o insumos disponibles, o visto de otra manera, buscan usar la menor cantidad de recursos disponibles para alcanzar un determinado índice de producción. Esta idea contiene implícitamente el concepto de eficiencia, que involucra tanto los insumos requeridos como los productos obtenidos, de tal forma que un conjunto de insumos y productos resulta ineficiente si la cantidad de producto puede ser aumentada, así como si los insumos requeridos pueden ser disminuidos.

Se puede entonces deducir que un punto eficiente debe estar situado en la frontera del conjunto de posibilidades de producción.

El concepto de eficiencia de producción es explicado mediante el diagrama simple que se muestra en la Figura No. 3.2.

Los puntos A, B, C, D y E, representan la selección hipotética de 5 empresas eléctricas, representando en eje X los gastos de capital por año y representando en el eje Y los gastos de operación y mantenimiento por año, los cuales son considerados como entradas, para estas empresas, se considera que la venta total de electricidad es la salida o producción, y es la misma para todas las empresas.

De esta manera la empresa que requiera menos gastos para hacer el mismo trabajo podría ser mas eficiente en comparación con otra empresa que requiera mas gastos. Sin embargo, la proporción en la cual las empresas usan estas entradas puede ser bastante diferente y aun así ellas podrían ser eficientes.

Tal determinación puede ser hecha basada en la frontera de producción (mejor funcionamiento gráfico) mostrado en la misma Figura No. 3.2.

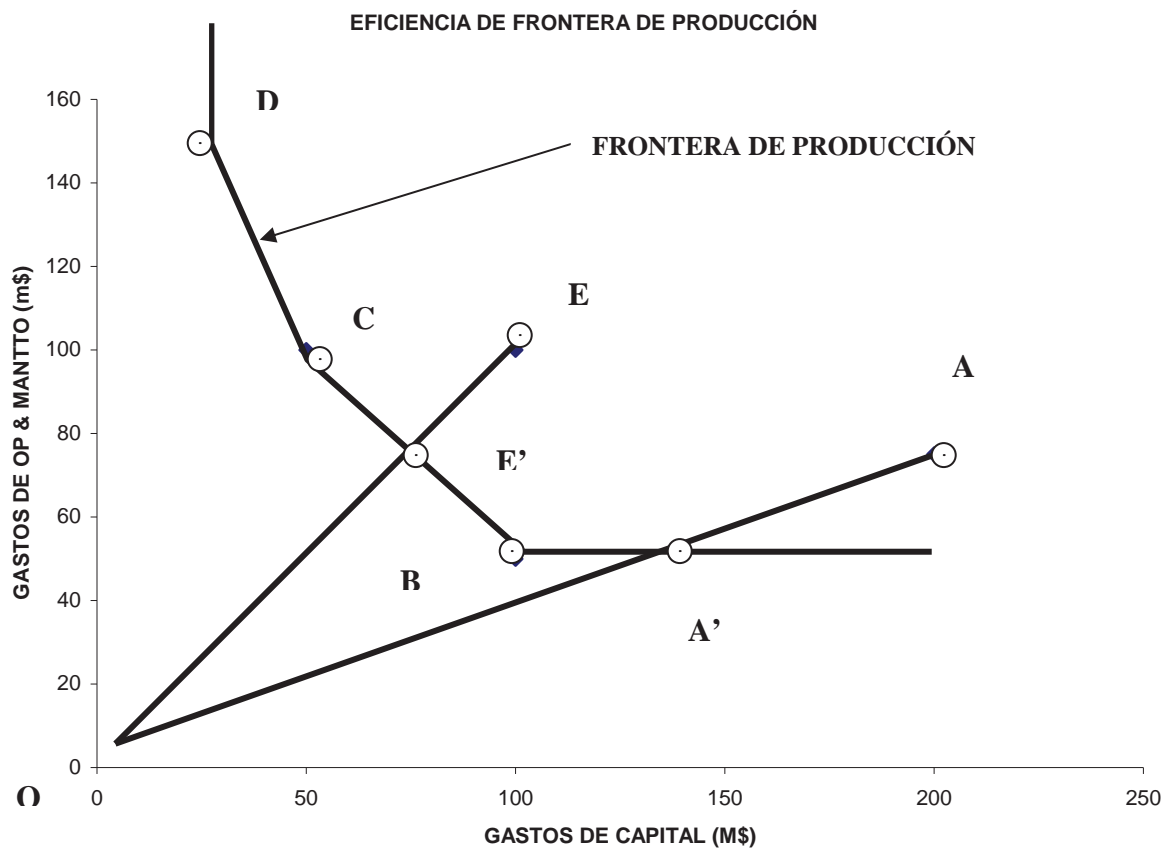


Figura No. 3.2

Fuente: IEEE Transactions On Power Systems Vol. 17 No. 3 Agosto/02

La frontera de producción en este contexto es una gráfica cóncava que conecta B, C, y D, la línea horizontal desde B y la línea vertical desde D.

De esta manera si una empresa esta sobre el límite de la frontera de producción, se considera eficiente dado que la reducción de una de sus entradas puede ser hecha solamente con el incremento del gasto de otra entrada.

Por lo tanto, B, C y D son empresas eficientes, y las empresas A y E son ineficientes. A y E pudieran ser eficientes si reducen una o ambas entradas, tal que sus nuevos puntos de operación caigan sobre la frontera de producción.

Las razones  $OA/OA'$  y  $OE/OE'$  son definidas como la eficiencia de producción de las empresas A y E respectivamente. Dado que E' esta sobre la frontera de producción, la empresa E podría llegar a ser eficiente si su punto de operación se mueve a E'. Sin embargo, la proyección de la empresa A hacia A' no la haría completamente eficiente, porque A' tendría el mismo valor para los gastos de capital como B pero aun así tendría gastos de operación y mantenimiento mas altos que B.

Esta diferencia entre A' y B es la llamada Recesión o Exceso en entradas.

De manera similar, recesión o déficit en las entradas y salidas puede ser definido como problemas con múltiples entradas y salidas.

La metodología DEA es un camino para calcular la eficiencia y recesiones en las entradas y salidas de un grupo de Unidades de Toma de Decisiones.

Las unidades eficientes están en la proximidad de las unidades ineficientes, en otras palabras las unidades eficientes que mandan las proyecciones de las entradas de las unidades ineficientes son llamadas “Pares Semejantes de las unidades ineficientes”.

Tal que las empresas B y C son los pares de la empresa E, y la empresa B es el par de la empresa A.

### 3.1.2.1.2 MEDIDA DE EFICIENCIA.

La eficiencia para los propósitos de DEA para cada DMU es definida como la razón máxima de la suma de las salidas ponderadas entre la suma de las entradas ponderadas, donde dichos pesos ponderados son determinados por el modelo mismo:

$$\theta = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}}$$

Donde:

$x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$  son las  $m$  entradas y  $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$  son las  $s$  salidas de la unidad  $j$ .

Así como  $v_1, v_2, \dots, v_m$  son las ponderaciones para las entradas y  $u_1, u_2, \dots, u_s$  son las ponderaciones para las salidas.

Esta razón de eficiencia es un modelo de optimización fraccionaria que necesita ser transformado en una formulación lineal, que puede ser resuelta mediante las técnicas clásicas de programación lineal.

### **3.2.- MODELOS DEA**

#### **3.2.1.- MODELO CCR**

Un primer modelo, basado en el supuesto de rendimientos constantes a escala en la frontera eficiente, es el desarrollado por Charnes et al. (1978), y es denominado CCR (por Charnes, Cooper y Rodhes), cuyo objetivo es maximizar la suma ponderada de los resultados de cada DMU, manteniendo la suma ponderada de los

insumos igual a uno y forzando a que la razón de la eficiencia sea inferior a la unidad, de acuerdo a la definición clásica de eficiencia.

En otras palabras, se permite que cada unidad seleccione las ponderaciones mas favorables para su situación específica.

Se indica que la evaluación de la eficiencia del modelo CCR es total (agregada).

Tal que, en términos matemáticos el modelo CCR es:

Maximizar:

$$(FP_o) \quad \max \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s Y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}}$$

Sujeto a:

$$\frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$$

y

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$$

Donde  $o$  es la unidad designada para el análisis de optimización y  $n$  es el número total de unidades en el estudio, tal que en cada corrida de optimización la eficiencia de una unidad específica es maximizada y esto se repite para todas las unidades.

Ahora se transformará la programación fraccionaria ( $FP_o$ ) por la forma de programación lineal ( $LP_o$ ).

$$(LP_o) \quad \max \theta = u_1 y_{1o} + \dots + u_s y_{so}$$

Sujeto a:

$$v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo} = 1$$

$$u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj} \leq v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj} \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$$

y

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$$

Donde:

$\theta_j$ : Eficiencia de la DMU j.

J : número de DMU's ( j = 1,2,...,n)

s : número de productos

m : número de insumos

$y_{sj}$  : cantidad de producto "s" correspondiente a la DMU j.

$x_{mj}$  : cantidad del insumo "m" de la DMU j.

$u_s$  : peso ponderado dado al producto "s"

$v_m$  : peso ponderado dado al insumo "m"

Las restricciones en el modelo CCR para cada una de las DMU consideradas son idénticas y expresan, en primer lugar, que la eficiencia de cada una de las empresas debe ser inferior o igual a la unidad; es decir, existe una cota superior a la medida de la eficiencia.

El segundo conjunto de restricciones expresa que la cantidad de productos no puede llegar a ser mayor que la cantidad de insumos utilizada.

Las variables de decisión del modelo son entonces los pesos de los insumos y los productos necesarios para la maximización de la eficiencia de cada DMU.

El resultado de eficiencia del modelo CCR puede interpretarse como el factor por el cual deben de afectarse los insumos de una DMU particular, para que ésta pueda situarse en la frontera eficiente.

En lugar de resolver el problema como se planteo anteriormente, un modelo equivalente es usualmente resuelto dado que requiere mucho menos cálculos y es mas fácil de implementar. La representación equivalente es obtenida primeramente convirtiendo el problema de optimización en un problema de programación lineal (LP) que usa el principio de dualidad, el cual da el siguiente modelo:

Minimizar  $\theta_o$

Sujeto a:

$$\theta_o x_{i0} - \lambda_1 x_{i1} - \lambda_2 x_{i2} - \dots - \lambda_n x_{in} \geq 0;$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$- y_{r0} + \lambda_1 y_{r1} + \lambda_2 y_{r2} + \dots + \lambda_n y_{rn} \geq 0;$$

$$r = 1, 2, 3, \dots, S$$

y

$$\lambda_j \geq 0; \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  son las ponderaciones en el modelo dual para las entradas y salidas de las  $n$  unidades.

El modelo dual permite entonces determinar los excesos de los insumos y los déficit de los productos.

En términos del modelo dual, la  $DMU_o$  es CCR-eficiente si  $\theta^* = 1$  y, además los vectores de excesos de insumos y déficit de productos son iguales a cero.

El cumplimiento de las dos condiciones anteriores se denomina eficiencia total. En este sentido, la  $DMU_o$  es totalmente eficiente si y solo si no es posible mejorar ningún insumo o producto sin desmejorar algún otro.

Si la primera condición no se cumple, significa que todos los insumos pueden ser simultáneamente reducidos sin alterar las proporciones en que son utilizados. Esta condición se denomina Eficiencia técnica pura o Eficiencia radial (también denominada eficiencia débil o de Farrell).

Las ineficiencias asociadas a la segunda condición se denominan por el contrario, ineficiencias de mezcla, esto es, aquella

que está representada por los excesos de insumos o los déficit de productos.

### 3.2.1.1 MODELO CCR ORIENTADO A LOS PRODUCTOS (CCR-O)

Una variación del modelo básico anterior consiste en maximizar los productos manteniendo los insumos constantes. A este modelo, se le denomina “Orientación a los productos” (output-oriented Model).

En contraposición al anterior se tiene el modelo de “Orientación a los insumos”(input-oriented Model), cuyo objetivo es el de minimizar las entradas manteniendo los niveles de producción.

El modelo orientado a los productos se puede formular como:

$$(DLP_o) \max \eta$$

Sujeto a:

$$x_o - X\mu \geq 0$$

$$\eta y_o - Y\mu \leq 0$$

$$\mu \geq 0$$

Una solución óptima de  $(DLP_o)$  puede derivarse directamente de la solución óptima dada en el Modelo CCR orientado a los insumos.

$$\lambda = \frac{\mu}{\eta}, \quad \theta = \frac{1}{\eta}$$

$$(DLP_o) \quad \min \theta$$

Sujeto a :

$$\theta_{x_o} - X\lambda \geq 0$$

$$y_o - Y\lambda \leq 0$$

$$\lambda \geq 0,$$

El cual es el Modelo CCR orientado a los insumos. Teniéndose una solución óptima del modelo orientado a los productos que lo relaciona con el modelo orientado a los insumos por medio de:

$$\eta^* = 1/\theta^*, \quad \mu^* = \lambda^* / \theta^*$$

Los slacks  $(t^-, t^+)$  del modelo orientado a los productos están definidos por:

$$X\mu + t^- = x_o$$

$$Y\mu - t^+ = \eta y_o$$

Estos valores son también relacionados al modelo orientado a los insumos por:

$$t^{-*} = s^{-*} / \theta^*, \quad t^{+*} = s^{+*} / \theta^*$$

Como  $\theta^* \leq 1$ ,  $\eta^*$  satisface que:

$$\eta^* \geq 1$$

Dada la relación inversa del modelo orientado a los productos, entre mayor sea el valor de la función objetivo  $\eta^*$ , se tiene una menor eficiencia de la DMU.

### 3.2.1.2.- CALCULO DE HOLGURAS

Una vez que la solución del método DEA esta disponible, las holguras en entradas y salidas son calculadas tomando la diferencia entre las actuales entradas y salidas; las entradas y salidas optimas; y las recesiones en entradas y salidas, tal que:

$$\Delta x_{io} = x_{io} - (\theta^*_o - s^-_i); \quad i = 1,2,3,\dots,m$$

$$\Delta y_{ro} = y_{ro} + s^+_r; \quad r = 1,2,3,\dots,s$$

donde  $\Delta x_{io}$  son las holguras en las entradas,  $\Delta y_{ro}$  son las holguras en las salidas,  $s^-_i$  son las recesiones en entradas con  $i = 1,2,3,\dots,m$ ,  $s^+_r$  son las recesiones en las salidas con  $r = 1,2,3,\dots,s$ , y  $\theta^*_o$  son los valores óptimos de eficiencias DEA para  $\theta_o = 1,2,3,\dots,n$ .

### 3.2.1.3.- ANÁLISIS DE LAS VARIABLES SLACKS

El análisis de las variables slacks en los modelos DEA (Lo, et al., 2001), proporciona la dirección en la cual habrán de mejorarse los niveles de eficiencia de las llamadas DMU's. Es así, que un valor output slack representa el nivel adicional de outputs necesarios para convertir una DMU ineficiente en una DMU eficiente.

Así también, un valor input slack representa las reducciones necesarias de las correspondientes inputs para convertir una DMU en eficiente.

El problema del análisis slacks se ilustra en la Figura No. 3.3, donde se presentan las combinaciones de inputs para 2 empresas eficientes C y D que se encuentran sobre la frontera y las de empresas ineficientes A y B.

Como ya hemos mencionado anteriormente, que en términos de Farrell la eficiencia técnica de A y B se encuentra definida por las razones  $OA'/OA$  y  $OB'/OB$ , respectivamente.

Sin embargo, es cuestionable si el punto A' es un punto eficiente toda vez que podría reducirse el monto del input  $x_2$  usado (por el monto CA') y aún producir el mismo output. Esto es conocido en la literatura como input slack (Coelli, et al., 2002).

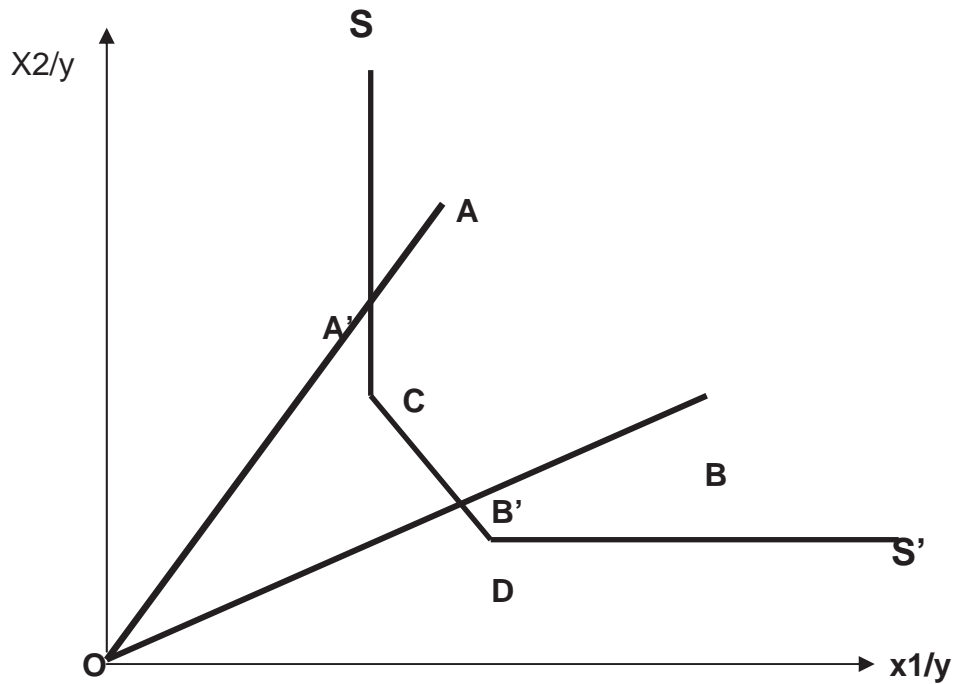


Figura No. 3.3

Fuente: Ciencia Nicolaita No. 35 La evaluación de la eficiencia 2003

### 3.2.2.- MODELO BCC

El supuesto de que los rendimientos constantes a escala (CRS) es apropiado, solamente es valido cuando todas las empresas están trabajando con una escala óptima.

Pero en la competencia imperfecta, las restricciones en el financiamiento, etc., pueden ocasionar que una empresa no este operando en la escala óptima. Banker et al. (1984), sugirieron una extensión de los rendimientos constantes a escala del modelo DEA,

para considerar las situaciones de rendimientos variables a escala (VRS).

El uso de los CRS cuando no todas las empresas están operando en la escala óptima, resulta en una medida de eficiencia técnica (TE), la cual es confundida con la eficiencia de escala (SE).

Tal fue la razón de que los modelos CCR se modificaran, y dieron así surgimiento a otros modelos. Tal es el caso del denominado Modelo BCC (por Banker, Charnes y Cooper), el cual supone rendimientos variables a escala y transforma el modelo CCR mediante la adición de una restricción de convexidad a los requerimientos envolventes de las restricciones; esto supone que el punto de referencia de la función de producción para la  $DMU_o$  es una combinación convexa de las DMU's observadas.

El uso de la especificación de los rendimientos variables a escala permite el cálculo de la eficiencia técnica libre de los efectos de la eficiencia de escala.

El modelo BCC tiene sus fronteras de producción representadas por la envoltura convexa de las DMU's existentes. Las curvas de frontera tienen características lineales y cóncavas, la cuales se muestran en la Figura No. 3.3, llevando a cabo rendimientos variables a escala con caracterizaciones de:

- a) Incrementos de rendimientos a escala (ocurridos en el primer segmento de línea sólido).
- b) Decremento de rendimientos a escala (en el segundo segmento).
- c) Constancia de rendimientos a escala (ocurriendo en el punto donde se hizo la transición del primer al segundo segmento).

### 3.2.2.1.- MODELO BCC ORIENTADO A ENTRADAS

El modelo BCC orientado a entradas evalúa la eficiencia de la  $DMU_o$  ( $o = 1, 2, \dots, n$ ), resolviendo la forma de programación lineal (forma envolvente):

$$(BCC_o) \quad \min \theta_{BCC}$$

Sujeto a:

$$\theta_{BCC} x_o - X\lambda \geq 0$$

$$Y\lambda \geq y_o$$

$$e\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

Donde  $\theta_{BCC}$  es un escalar.

La forma dual de este Modelo de programación lineal ( $BCC_o$ ) se expresa como:

$$\max z = u y_o - u_o$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned}vx_o &= 1 \\ -vX + uY - u_o e &\leq 0 \\ v \geq 0, u &\geq 0\end{aligned}$$

$u_o$  libre en signo (puede ser positivo, negativo o cero).

$Z$  y  $u_o$  son escalares.

El modelo de programación fraccionaria BCC es obtenido del programa dual como:

$$\max \frac{uy_o - u_o}{vx_o}$$

Sujeto a:

$$\frac{uy_j - u_o}{vx_j} \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$v \geq 0, u \geq 0$$

$u_o$  libre en signo.

Es claro que la diferencia entre los modelos CCR y BCC esta presente en la variable libre  $u_o$ , la cual es la variable dual asociada con la restricción  $e\lambda = 1$ , la cual no aparece en el Modelo CCR.

La eficiencia en el modelo BCC se obtiene cuando para una DMU la función objetivo arroja  $\theta^* = 1$  y el exceso de sus holguras, tanto por uso en exceso de los insumos como por déficit, en los productos son iguales a cero.

Los resultados de eficiencia BCC siempre resultan mayores o iguales que la eficiencia obtenida por el modelo CCR, debido a que la distancia de referencia a la frontera BCC es mayor o igual que la distancia de referencia a la frontera del modelo CCR.

Por lo tanto dado que se cumple que  $\theta_{BCC}^*$  es siempre mayor o igual que  $\theta_{CCR}^*$ , entonces es posible plantear la denominada eficiencia de escala (EE) como:

$$EE = \frac{\theta_{CCR}^*}{\theta_{BCC}^*}$$

Con lo cual:

$$EBH = EM * ET = EM * ETP * EE$$

La anterior relación permite explicar la eficiencia no radial de una DMU en sus componentes de eficiencia de escala, eficiencia de mezcla y eficiencia técnica pura.

### 3.2.2.2.- MODELO BCC ORIENTADO A SALIDAS

El modelo BCC orientado a salidas se define como:

$$(BCCO_o) \quad \max \eta_{BCC}$$

Sujeto a:

$$X\lambda \leq x_o$$

$$\eta_{BCC}y_o - Y\lambda \leq 0$$

$$e\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

La forma dual del modelo  $(BCCO_o)$  se expresa como:

$$\min z = vx_o - v_0$$

Sujeto a:

$$vy_o = 1$$

$$vX - uY - v_0e \geq 0$$

$$v \geq 0, u \geq 0$$

$v_o$  libre en signo. Donde  $v_o$  es un escalar asociado con  $e\lambda = 1$  en el modelo envolvente.

Finalmente se tiene el modelo equivalente (BCC) de programación fraccionaria:

$$\min \frac{vx_o - v_0}{uy_o}$$

Sujeto a:

$$\frac{vx_j - v_0}{uy_j} \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$v \geq 0, u \geq 0$$

$v_0$  libre en signo.

### 3.2.3.- MODELO ADITIVO

Los modelos DEA anteriores requirieron el que se distinga entre modelos orientados a entradas y orientados a salidas, sin embargo se puede tener una combinación de ambas orientaciones en un solo modelo, denominado Modelo Aditivo.

#### 3.2.3.1.- MODELO ADITIVO BASICO

Existen varios tipos de modelos aditivos, y dentro de los cuales se selecciona el siguiente:

$$(ADD_o) \quad \max Z = es^- + es^+$$

Sujeto a:

$$X\lambda + s^- = x_o$$

$$Y\lambda - s^+ = y_o$$

$$e\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0$$

El problema dual puede ser expresado como sigue:

$$\min w = vx_o - uy_o + u_0$$

Sujeto a:

$$vX - uY + u_0 e \geq 0$$

$$v \geq e$$

$$u \geq e$$

$$u_0 \text{ libre en signo.}$$

Las soluciones óptimas son:

$$(\lambda^*, s^{-*}, s^{+*})$$

La definición de eficiencia para una DMU eficiente en el modelo aditivo esta dada por:

Una  $DMU_o$  es ADD eficiente si y solamente si es BCC eficiente.

### 3.2.4.- MODELO SBM

El modelo SBM (Medición basada en slacks) permite estimar un valor de eficiencia de mezcla a partir de la relación de las holguras, es decir, de la relación entre los déficit de productos y los superávit en el uso de los insumos.

La bondad del uso de este modelo está representada en que se cumple con la mayoría de las características de los modelos aditivos, teniendo las siguientes propiedades importantes:

- a) La medición es invariante con respecto a las unidades de medida en cada artículo de entrada y salida (Invariante en las unidades).
- b) La medición es monótono decreciente en cada slack de entrada y salida (Monótono).

El modelo SBM puede ser transformado en un modelo de programación lineal introduciendo una variable escalar positiva  $t$ .

$$(SBM_t) \quad \min r = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{tS_i^-}{x_{io}}$$

Sujeto a:

$$1 = t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{tS_r^+}{y_{ro}}$$

$$X\lambda + s^- = x_o$$

$$Y\lambda - s^+ = y_o$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0, t > 0$$

Permitiendo definir que:

$$S^- = ts^-, S^+ = ts^+, \Lambda = t\lambda$$

Entonces ( $SBM_t$ ) se convierte en el siguiente modelo de programación lineal en  $t, S^-, S^+$  y  $\Lambda$ :

$$\min r = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{io}}$$

Sujeto a:

$$1 = t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{S_r^+}{y_{ro}}$$

$$tx_o = X\Lambda + S^-$$

$$ty_o = Y\Lambda - S^+$$

$$\Lambda \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0, t > 0$$

Por lo que se tendrá una solución óptima del modelo SBM definida por:

$$\rho^* = r^*, \lambda^* = \Lambda^* / t^*, s^{-*} = S^{-*} / t^*, s^{+*} = S^{+*} / t^*$$

Una DMU  $(x_o, y_o)$  es SBM eficiente si y solamente si  $\rho^* = 1$  .

Para la aplicación de este modelo se debe tener en cuenta que un insumo particular  $(x_{io})$  tenga el valor de cero, debe de eliminar el cociente entre la holgura y el insumo  $(s_i^* / x_{io})$  , y en segundo lugar que si el valor de una salida para una DMU es negativa  $(y_{io})$  , se necesita reemplazar este valor por medio de un arquimediano, con el fin de que el cociente  $(s_i^* / y_{io})$  se pueda calcular y actúe como expresión penalizante.

En la tabla No. 3.1 se resumen y comparan algunos de los tópicos más importantes a considerar en la selección de los modelos DEA básicos a ser utilizados.

**COMPARACION DE LOS MODELOS DEA**

MODELO / VARIABLES	CCR (INPUT ORIENTED)	CCR (OUTPUT ORIENTED)	BCC (INPUT ORIENTED)	BCC (OUTPUT ORIENTED)	ADD	SBM
NATURALEZA VARIABLES DE ENTRADA (X)	SEMIPOSITIVA	SEMIPOSITIVA	SEMIPOSITIVA	LIBRE	LIBRE	SEMIPOSITIVA
NATURALEZA VARIABLES DE SALIDA (Y)	LIBRE	LIBRE	LIBRE	SEMIPOSITIVA	LIBRE	LIBRE
TRANSLACIÓN DE VARIABLES DE ENTRADA (X)	NO	NO	NO	SI	SI	NO
INVARIANCIA DE VARIABLES DE SALIDA (Y)	NO	NO	NO	NO	SI	NO
UNIDADES INVARIABLES	SI	SI	SI	SI	NO	SI
$\theta^o$	[0,1]	[0,1]	[0,1]	[0,1]	NO	[0,1]
EFICIENCIA	TÉCNICA	TÉCNICA	TÉCNICA	TECNICA	MEZCLA	MEZCLA
RENDIMIENTOS A ESCALA	CONSTANTES	CONSTANTES (CRS)	VARIABLES (VRS)	VARIABLES (VRS)	CONSTANTE Y VARIABLE (CRS y VRS)	CONSTANTE Y VARIABLE (CRS y VRS)

Fuente: Cooper, Seiford y Tone (2000)

Tabla No. 3.1

En la mencionada Tabla No. 3.1, el termino “semipositivo” significa la no negatividad con al menos un elemento positivo de los datos de cada DMU, y “libre” nos indica que permite datos negativos, cero o positivos.

### **3.2.5.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MODELOS DEA.-**

De la misma forma en la que todos los métodos dirigidos a medir la productividad, los Modelos DEA presentan ventajas y desventajas. Sin embargo, en este caso las desventajas que se identifican, son propias de las que presentan tanto las técnicas econométricas como las de programación lineal paramétrica.

Mientras que las ventajas de las técnicas DEA superan muchas de las desventajas que se tienen a través de la instrumentación de los números índices ó de las propias técnicas econométricas, como lo es el caso de considerar múltiples inputs y outputs ó la propia normalización de las variables.

#### **3.2.5.1.- VENTAJAS.-**

Dentro de las ventajas que tienen los modelos frontera en su instrumentación se pueden indicar las siguientes (Mercado, 1997; Fuentes, 2003):

1. Es la técnica que mayor información produce a partir de los datos de entrada y salida (inputs y outputs).

2. Los requerimientos de información son mínimos, tanto en las entradas como en las salidas. (Todas las empresas a analizar deben tener las mismas unidades).
3. Se tiene la posibilidad de utilizar múltiples productos e insumos, al mismo tiempo que permite la introducción de insumos discrecionales y variables de entorno (ambientales) y la generalización del modelo para incorporar la opinión de expertos.
4. Se tiene la posibilidad de no cometer errores de especificación.
5. La técnica DEA utiliza una medición radial que permite tener una interpretación directa del efecto que tiene la eliminación de la ineficiencia técnica sobre costos e ingresos, respectivamente.
6. Es conceptualmente fácil de entender y su estructura matemática no requiere fundamentos más allá de la programación lineal.
7. Puede ayudar a construir la información que requiere la técnica de Cobb-Douglas ó la translogarítmica, proporcionando a éstas los datos puntuales de la frontera eficiente y acercar así el ajuste de una función de producción a su concepto teórico.

8. Tiene la ventaja adicional de que brinda la versión dual del problema.

### **3.2.5.2.- DESVENTAJAS.-**

Dentro de las desventajas en la utilización de los modelos DEA se pueden citar las siguientes (Lo, et al., 2001; Fuentes, 2003):

1. Se tiene un carácter determinístico de la medición (toda desviación con respecto a la frontera es considerada como ineficiencia).
2. El número de empresas catalogadas como eficientes es sensible al número de insumos y/o productos empleados en la estimación ( $n \geq 2(m + s)$ ).
3. La sensibilidad de los resultados a distinta selección de variables y el sesgo que impone la presencia de observaciones extremas.

Cabe mencionar que las dos últimas desventajas no son exclusivas de los modelos DEA, y las presentan tanto las técnicas econométricas como la de programación lineal paramétrica.

## **CAPITULO 4**

### **APLICACIÓN DE LOS MODELOS DEA PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN LA DIVISIÓN CENTRO OCCIDENTE.**

#### **4.1.- DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN (DMU'S).**

Como DMU'S para el presente estudio se definieron y seleccionaron las 10 Zonas de Distribución que conforman a la División Centro Occidente (que comprende los estados de Michoacán, Colima y algunas poblaciones colindantes de Guanajuato, Jalisco y Guerrero), de las cuales se disponía de la información necesaria respecto de las variables definidas para este trabajo, en el período analizado del 2000-2005.

Estas Zonas son las siguientes:

- I. Morelia
- II. Colima
- III. Uruapan
- IV. Zamora

- V. Zitacuaro
- VI. Lázaro Cárdenas
- VII. La Piedad
- VIII. Patzcuaro
- IX. Apatzingan
- X. Manzanillo

Se indica que dentro de las funciones prioritarias de estas zonas que integran a la División Centro Occidente se encuentran la Distribución y Comercialización de la energía eléctrica, formando un grupo homogéneo en este sentido, el cual puede ser evaluado sobre la base de las mismas entradas y salidas (inputs y outputs).

No debe desconocerse sin embargo, que existen diferencias importantes entre estas 10 zonas, como son el número de usuarios y el volumen de ventas, lo cual tiene implicaciones en las economías de escala de la División Centro Occidente.

#### **4.1.1.- DEFINICIÓN DEL OBJETIVO DEL ANALISIS.**

De las características del sector de la distribución eléctrica y de las variables involucradas en el estudio, se puede asumir que la aplicación de una mayor cantidad de recursos puestos a disposición de una Zona de Distribución debe conllevar a mejores resultados en términos de las variables de producto, sugiriendo que se está frente a retornos constantes o crecientes a escala.

Por otro lado, se supone que se puede alcanzar una mayor eficiencia mediante la reducción de los insumos, al mantener los productos constantes, o que se pueda lograr un mejor resultado con el empleo de la misma cantidad de insumos.

Por lo que se optara por aplicar los modelos CCR para la orientación a entradas, a fin de analizar los supuestos de retornos constantes a escala para la caracterización de la eficiencia relativa de las zonas de distribución.

Sin embargo, en el sector de la distribución eléctrica pueden presentarse algunos efectos enmarcados en la teoría de los costos comparativos, según la cual la ausencia de barreras para el intercambio en un mercado conduce a una mejor asignación de recursos y mejores resultados para todos los involucrados, con lo cual se estaría en una situación de retornos variables a escala. Por lo tanto en el estudio se plantea también los modelos BCC, desde la orientación de entradas, con el fin de verificar dicho supuesto.

Al disponer de los resultados con los modelos CCR, como con los de los modelos BCC, es posible efectuar la descomposición de la eficiencia y encontrar, de esta manera para una zona en particular (DMU), los factores que explican su ineficiencia relativa.

## **4.2.- SELECCIÓN Y DETERMINACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS.**

### **4.2.1.- CONCEPTOS.**

Para la selección y determinación de las variables de entradas y salidas (insumos y productos) en los modelos DEA se sugiere un procedimiento que permita establecer la contribución de una variable a la medida de eficiencia de una DMU, mediante el cálculo de los resultados del modelo DEA con la incorporación de esa variable (modelo total) y posteriormente sin la variable considerada (modelo reducido).

Si el resultado de la relación de la eficiencia de los modelos reducido y total para una variable y para una DMU determinada es cercana a la unidad, indica que la variable no contribuye significativamente al análisis y puede, por lo tanto ser excluida, Mancebon y Mar Molinero et al (2000).

Las variables identificadas como relevantes para el estudio resultado del análisis y validación de los expertos, así como de la disponibilidad de la información requerida por las Zonas de Distribución, se deben de someter a un análisis estadístico para verificar la colinealidad entre las variables de entrada y garantizar la isotonicidad entre insumos y productos.

Mancebon y Mar Molinero et al (2000) sugieren el empleo de técnicas multivariadas, el análisis de componentes principales, el análisis de factores, el análisis de clústers jerárquicos, el escalamiento

dimensional, así como el análisis mediante coeficientes de correlación entre variables.

Estas técnicas permiten corroborar, por un lado, la inclusión de las variables en el análisis (así como el número de ellas), y por el otro, la relación de dependencia entre ellas.

En el estudio se debe de realizar un análisis de correlación entre las variables, mediante una matriz de correlación. Como resultado, se eliminarán aquellas variables que representan un alto grado de correlación y otras serán transformadas en términos de otra unidad de medida que representara de mejor manera su comportamiento.

La evaluación de la eficiencia es altamente dependiente de la selección de entradas y salidas.

La inclusión de muchas variables también hace que el análisis de la eficiencia se dificulte; por lo que, solamente las variables más significativas deben ser incluidas. Además, como una guía general las variables para las cuales es deseable tener valores muy bajos deberán ser consideradas como entradas y las variables para las cuales es deseable tener valores muy altos deben ser consideradas como salidas.

Sin embargo, el análisis con un numero reducido de variables fijado también reducen la eficiencia de una empresa o la mantienen, pero nunca pueden incrementarla.

De otra forma, la inclusión de mas variables puede incrementar la eficiencia de una empresa ineficiente.

Otro problema con la adición de mas variables es que un número muy grande de estas podría hacer a todas las empresas eficientes y hacer que el análisis no tenga sentido.

En virtud de que el método DEA es muy flexible nos permite como analista seleccionar las entradas y salidas.

Recomendándose un número mínimo de DMU y, por ende, de datos para ser utilizados en el análisis con relación al número de variables incluidas.

Así Cooper, Seiford y Tone et al (2000) proponen que el número de DMU debe ser mayor que la suma de variables de insumos y de productos; mientras que Golany y Roll et al (1989) plantean que el número de DMU debe ser por lo menos 2 veces mayor que la suma de variables de insumos y de productos.

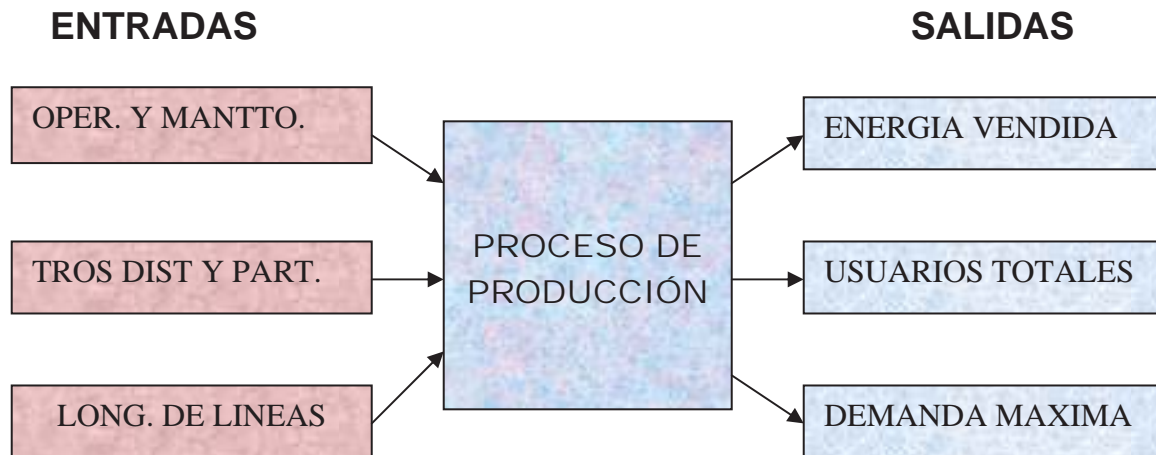
Teniéndose entonces como una regla de dedo a considerar, que el número total de empresas incluidas en el análisis deberá ser mayor o igual a dos veces la suma de las entradas y salidas:

$$n \geq 2( m + s ).$$

#### 4.2.2.- PROCESO DE PRODUCCIÓN.

Dentro del concepto del proceso de producción de la distribución de electricidad según P. K. Kaira et al (2004), los distribuidores de energía eléctrica usan su capacidad de red y de transformadores, conjuntamente con unidades de mano de obra (entradas), para entregar un número de unidades eléctricas a un conjunto especificado de consumidores y para cubrir un nivel de demanda máxima (salidas).

El proceso de producción de la distribución de electricidad se muestra esquemáticamente en la Figura No. 4.1.



Fuente: Conference on Planning and Operation of Reliable Distribution Systems/04  
Figura No. 4.1

Dentro del modelo del proceso de producción propuesto las entradas seleccionadas consisten de aquellos parámetros que directamente afectan la infraestructura y la cultura de trabajo de la empresa.

Y las salidas son las que afectan grandemente al usuario o son afectadas por él.

Cabe señalar que las variables normalmente elegidas como entrada y salida para evaluar la eficiencia de las compañías de distribución eléctrica en países como Inglaterra, Gales, Suecia, los EEUU y Nueva Zelanda se basan en el modelo anterior.

#### **4.2.3.- SELECCIÓN Y DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA CASO DE ESTUDIO.**

Para nuestro caso de estudio se tendrán 3 entradas ( $m = 3$ ), 2 salidas ( $s = 2$ ) y 10 DMU'S ( $n = 10$ ).

$$10 \geq 2(3 + 2); 10 \geq 10$$

Por lo que se cumple con la regla establecida por Golany y Roll et al (1989).

Partiendo de lo expuesto en el apartado anterior, se indica que utilizaremos dentro de nuestro caso de estudio y para la selección de

las variables de entrada y salida el modelo propuesto en la Figura No. 4.2.

De éste modelo se seleccionaran las combinaciones de entradas y salidas para la realización del estudio de evaluación del desempeño de las Zonas de Distribución.

Combinación 1:

Entradas: Pérdidas, Longitud de Líneas, Gastos de Explotación.

Salidas: TIU, Energía Vendida.

Combinación 2:

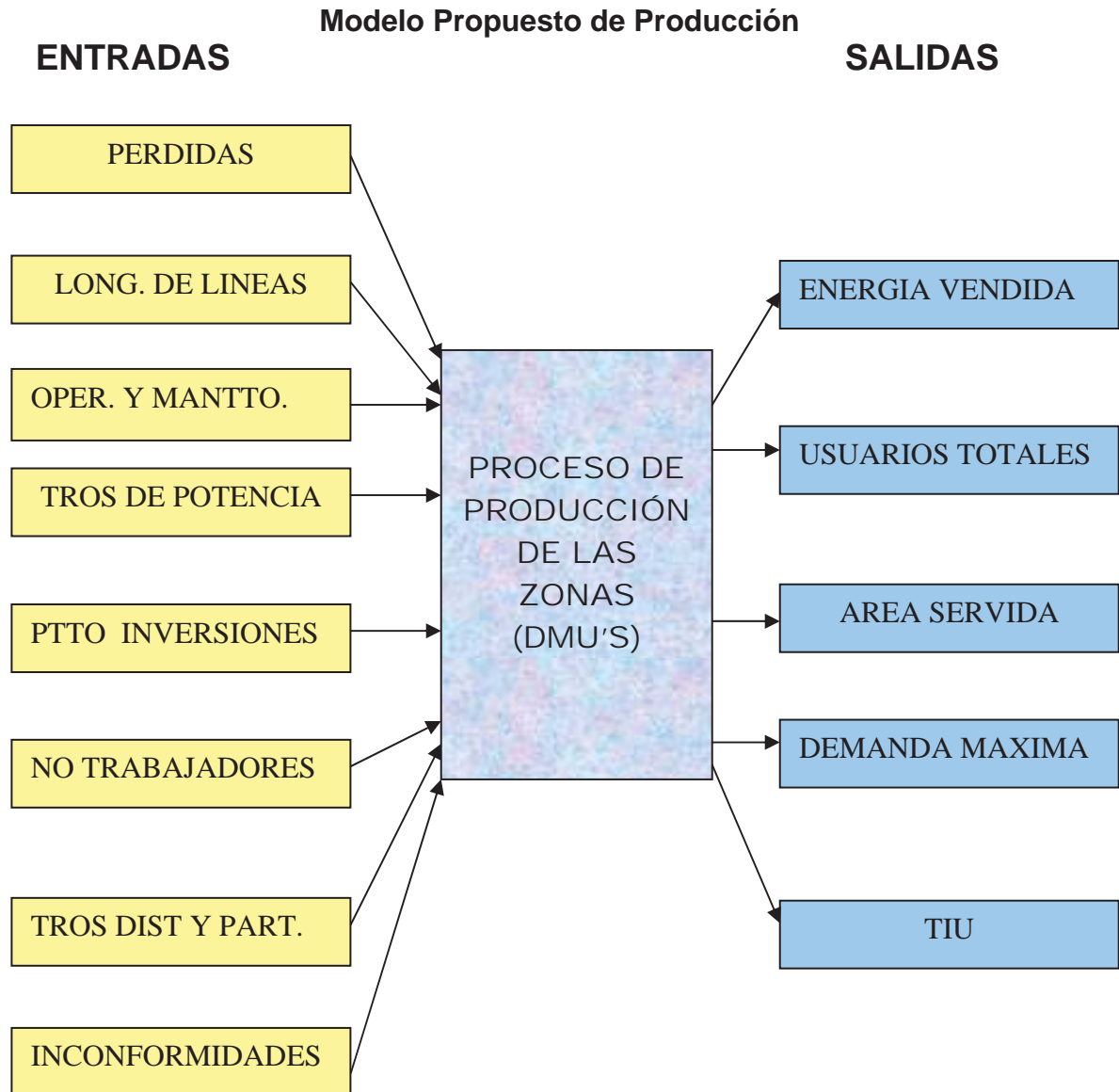
Entradas; Pérdidas, Número de transformadores, Inconformidades por mil usuarios.

Salidas: Usuarios Totales, Energía Vendida.

Combinación 3:

Entradas: Número de Trabajadores, Transformadores de Potencia, Presupuesto de Inversiones.

Salidas: Area Servida, Demanda Máxima.



Fuente: Elaboración propia adaptado de P. K. Kaira (2004)  
Figura No. 4.2

Sobre la base de la información estadística disponible de las 10 zonas de distribución, se incluye como muestra el de una zona en la tabla no. 4.1, y en base a estas se realizara el análisis con las combinaciones de entradas y salidas mostradas en las tablas no. 4.2, 4.3 y 4.4, esto para los años del 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005 (valores al mes de junio).

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

DATOS ESTADÍSTICOS ZONA URUAPAN

INDICADOR	UNIDAD	AÑOS					
		2000	2001	2002	2003	2004	2005
PERDIDAS TOTALES	%	6.31	5.77	5.38	5.76	5.81	6.36
PERDIDAS TECNICAS	%	5.42	4.96	4.63	4.94	5.66	5.47
PERDIDAS NO TECNICAS	%	0.89	0.81	0.75	0.82	0.15	0.89
PERDIDAS TOTALES	GWH	27.09	25.12	24.78	27.75	26.51	38
PERDIDAS TECNICAS	GWH	23.26	21.59	21.32	23.82	25.82	34.05
PERDIDAS NO TECNICAS	GWH	3.83	3.53	3.46	3.93	0.69	3.95
VENTAS TOTALES	MWH	371289	382332	380964	381544	396322	198161
VENTAS AT	MWH	115040	115874	103714	101133	105124	52562
VENTAS MT	MWH	85469	89119	96215	100577	104019	52010
VENTAS BT	MWH	170780	177339	181035	179834	187179	93589
DEMANDA MAXIMA	MW	94.358	87.618	87.239	86.552	89.895	89.12
AREA SERVIDA	KM2	4100	4182	4131	4131	4291	5093
TIU	MIN	77.912	62.46	48.975	48.626	45.096	11.098
INCONF/MIL USUARIOS	NO.	2.73	2.64	2.67	2.08	1.80	1.73
LINEAS AT	KM	78,51	78,51	60,01	200,01	191,85	191,85
LINEAS MT	KM	1497,97	1528,73	1558,73	1544,46	1544,46	1554,46
LINEAS BT	KM	922,465	956,325	978,645	979,945	981,096	981,096
TROS DIST	NO.	3533	3665	3703	3735	3760	3824
TROS PART	NO.	956	1035	1055	1140	1929	1226
TROS DE POTENCIA	NO.	7	7	7	7	9	9
SUBESTACIONES DIST.	NO.	6	6	6	6	7	7
USUARIOS TOTALES	NO.	106589	112250	117471	121778	126532	128734
USUARIOS AT	NO.	1	1	1	1	1	1
USUARIOS MT	NO.	850	894	934	802	1007	1020
USUARIOS BT	NO.	105738	111355	116536	120975	125524	127713
TRABAJADORES TOTALES	NO.	135	141	141	141	141	141
TRABAJADORES SINDICALIZADOS	NO.	117	122	122	122	122	122
TRABAJADORES NO SINDICALIZADOS	M\$	18	19	19	19	19	19
PRESUPUESTO INVERSIONES	M\$	11365	12628	13945	9655	10662	9236
PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN CAJA	M\$	25775	29290	33284	37674	42653	42634
GASTOS DE EXPLOTACIÓN	M\$	48008	57240	59841	59421	66656	31818
GASTOS EXPLOTACIÓN/CUE	M\$	30176	34291	38967	44106	49923	22805
PRESUPUESTO EXPLOTACIÓN DEV	M\$	30930	35148	39941	45209	51183	51161
COSTO UNITARIO EXPLOTACIÓN/ USUARIO	\$	645.5	618.68	592.97	383.44	401.84	418.63
CUD-C	(\$CON)	985.43	1083.9	1101.49	1123.08	1285.64	1431.73

Fuente: Elaboración propia con base en: Comisión Federal de Electricidad (CFE), información básica Divisional.

Tabla No. 4.1

**Inputs y outputs de las Zonas de distribución de la DCO año 2000  
Combinación 1**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	INPUTS			OUTPUTS	
		GASTOS DE EXPLOTACIÓN (M\$)	PERDIDAS (%)	KM DE LINEAS (NO)	TIU (MIN)	ENERGIA VENDIDA (MWH)
1	MORELIA	75804	8.85	1849.845	47.20	913733
2	COLIMA	40981	5.67	3648.954	73.54	771710
3	URUAPAN	30176	6.31	2498.945	77.91	371289
4	ZAMORA	51310	10.81	3440.073	71.71	471862
5	ZITACUARO	32750	9.44	1849.847	69.05	161552
6	LAZARO CARDENAS	28737	0.39	1035.531	81.80	264494
7	LA PIEDAD	38924	10.82	3552.951	75.35	374233
8	PATZCUARO	37125	7.33	3527.648	94.41	262489
9	APATZINGAN	36961	10.05	3089.341	88.29	320751
10	MANZANILLO	29565	3.83	2420.257	42.43	573099

Fuente: Elaboración propia con base en: Comisión Federal de Electricidad (CFE), información básica Divisional.

Tabla No. 4.2

**Inputs y outputs de las Zonas de distribución de la DCO año 2000  
Combinación 2**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	INPUTS			OUTPUTS	
		TROS DE DIST Y PART.	PERDIDAS (%)	INCONFORMIDADES POR CADA MIL USUARIOS (NO)	USUARIOS TOTALES (NO)	ENERGIA VENDIDA (MWH)
1	MORELIA	10629	8.85	2.89	286039	913733
2	COLIMA	7966	5.67	3.79	138198	771710
3	URUAPAN	4489	6.31	2.73	106589	371289
4	ZAMORA	7218	10.81	2.99	231784	471862
5	ZITACUARO	4201	9.44	5.41	79021	161552
6	LAZARO CARDENAS	2154	0.39	3.42	49030	264494
7	LA PIEDAD	6895	10.82	3.71	127361	374233
8	PATZCUARO	5907	7.33	2.99	127874	262489
9	APATZINGAN	5326	10.05	3.05	101996	320751
10	MANZANILLO	3510	3.83	2.98	86985	573099

Fuente: Elaboración propia con base en: Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Tabla No. 4.3

**Inputs y outputs de las Zonas de distribución de la DCO año 2000  
Combinación 3**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	INPUTS			OUTPUTS	
		NUMERO DE TRABAJADORES (NO)	TROS DE POTENCIA (NO)	PRESUPUESTO DE INVERSIONES (M\$)	AREA SERVIDA (KM2)	DEMANDA MAXIMA (MW)
1	MORELIA	284	13	20953	6798	174438
2	COLIMA	217	14	9522	4618	138168
3	URUAPAN	135	7	11365	4100	94358
4	ZAMORA	254	11	15642	4604	99245
5	ZITACUARO	126	4	9957	2500	43903
6	LAZARO CARDENAS	69	5	12535	3564	46441
7	LA PIEDAD	151	8	10347	5122.12	135402
8	PATZCUARO	154	11	9501	6745.58	72674
9	APATZINGAN	135	13	8944	13363	66214
10	MANZANILLO	106	11	8513	6818	99160

Fuente: Elaboración propia con base en: Comisión Federal de Electricidad (CFE), información básica Divisional.

Tabla No. 4.4

### 4.3.- EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN APLICANDO LOS MODELOS “DEA”.

#### 4.3.1- ANÁLISIS DE EFICIENCIA.

Se aplicara en esta parte del estudio la determinación de la eficiencia de las zonas de distribución a partir de la aplicación del modelo CCR, mismo que permite conocer la Eficiencia Total con rendimientos constantes a escala.

Se considera también el modelo BCC, para analizar los rendimientos variables a escala, la eficiencia técnica y la eficiencia de escala en las 10 zonas de distribución. Se abordará además, lo correspondiente a las Variables Slacks, con la finalidad de identificar las necesidades de Entradas y Salidas (Inputs y Outputs) para tener zonas eficientes.

#### **4.3.2- ANÁLISIS DE EFICIENCIA CON MODELO CCR.**

Como se menciona en la parte descriptiva de la metodología DEA, la aplicación del modelo CCR implica considerar rendimientos constantes a escala para evaluar la eficiencia total de las 10 zonas de distribución de la División Centro Occidente para el período señalado 2000-2005.

Los resultados obtenidos de eficiencia total y valores slack para el año 2000 se muestran en las tablas No. 4.5, 4.6 y 4.7.

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

**EFICIENCIA TOTAL Y VALORES SLACK DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO CCR. (COMBINACIÓN 1 AÑO-2000)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCION	EFICIENCIA TOTAL	VALORES SLACK				
			INPUTS			OUTPUTS	
			GASTOS DE EXPLOTACIÓN (M\$)	PERDIDAS (%)	KM DE LINEAS (NO)	TIU (MIN)	ENERGIA VENDIDA (MWH)
1	MORELIA	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	COLIMA	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	URUAPAN	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	ZAMORA	0.623	0.000	3.926	0.000	0.000	0.000
5	ZITACUARO	0.741	0.000	6.662	496.038	0.000	61710.3
6	LAZARO CARDENAS	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	LA PIEDAD	0.761	0.000	2.145	241.699	0.000	0.000
8	PATZCUARO	0.893	0.000	6.098	1956.32	0.000	42767.7
9	APATZINGAN	0.862	0.000	6.483	1097.1	0.000	0.000
10	MANZANILLO	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.2

Tabla No. 4.5

**EFICIENCIA TOTAL Y VALORES SLACK DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO CCR (COMBINACIÓN 2 AÑO-2000)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	EFICIENCIA TOTAL	VALORES SLACK				
			INPUTS			OUTPUTS	
			TROS DE DIST Y PART.	PERDIDAS (%)	INCONFORMIDADES POR CADA MIL USUARIOS (NO)	USUARIOS TOTALES (NO)	ENERGÍA VENDIDA (MWH)
1	MORELIA	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	COLIMA	0.983	2338.99	0.000	0.000	1480	0.000
3	URUAPAN	0.808	0.000	0.221	0.109	0.000	0.000
4	ZAMORA	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	ZITACUARO	0.586	0.000	1.847	2.148	0.000	0.000
6	LAZARO CARDENAS	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	LA PIEDAD	0.608	0.000	0.714	0.076	0.000	0.000
8	PATZCUARO	0.716	0.000	0.000	0.000	0.000	55099
9	APATZINGAN	0.639	0.000	1.733	0.103	0.000	0.000
10	MANZANILLO	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.3

Tabla No. 4.6

**EFICIENCIA TOTAL Y VALORES SLACK DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO CCR (COMBINACIÓN 3 AÑO-2000)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	EFICIENCIA TOTAL	VALORES SLACK				
			INPUTS			OUTPUTS	
			NUMERO DE TRABAJADORES (NO)	TROS DE POTENCIA (NO)	PRESUPUESTO DE INVERSIONES (M\$)	AREA SERVIDA (KM2)	DEMANDA MAXIMA (MW)
1	MORELIA	0.805	33.141	0.000	3478.93	0.000	0.000
2	COLIMA	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	URUAPAN	0.859	7.865	0.000	2371.98	0.000	0.000
4	ZAMORA	0.597	36.355	0.000	1461.51	0.000	0.000
5	ZITACUARO	0.824	50.146	0.000	4550.20	0.000	0.000
6	LAZARO CARDENAS	0.880	0.000	0.000	6848	0.000	0.000
7	LA PIEDAD	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	PATZCUARO	0.729	4.762	0.000	0.000	0.000	0.000
9	APATZINGAN	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	MANZANILLO	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.4.

Tabla No. 4.7

Para ilustrar de mejor manera el comportamiento de las 10 zonas de distribución se muestran las tablas No. 4.8, 4.9 y 4.10 que contienen la eficiencia total en el período analizado.

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

**EFICIENCIA TOTAL DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO CCR. (COMBINACIÓN 1 PERÍODO 2000-2005)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	EFICIENCIA TOTAL					
		2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	MORELIA	1.000	0.839	0.710	0.765	0.902	0.772
2	COLIMA	1.000	1.000	0.942	0.766	0.809	0.811
3	URUAPAN	1.000	0.986	0.846	0.640	0.721	0.618
4	ZAMORA	0.623	0.630	0.578	0.475	0.521	0.479
5	ZITACUARO	0.741	0.668	0.633	1.000	0.516	0.369
6	LAZARO CARDENAS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	LA PIEDAD	0.761	0.793	0.743	0.604	0.597	0.502
8	PATZCUARO	0.893	1.000	0.659	0.763	0.551	0.360
9	APATZINGAN	0.862	0.929	0.638	0.452	0.485	1.000
10	MANZANILLO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.2

Tabla No. 4.8

**EFICIENCIA TOTAL DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO CCR. (COMBINACIÓN 2 PERÍODO 2000-2005)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	EFICIENCIA TOTAL					
		2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	MORELIA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	COLIMA	0.983	0.696	0.991	0.711	0.780	0.903
3	URUAPAN	0.808	0.818	0.834	0.679	0.778	0.846
4	ZAMORA	1.000	1.000	1.000	0.753	1.000	0.831
5	ZITACUARO	0.586	0.628	0.656	1.000	0.711	0.607
6	LAZARO CARDENAS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	LA PIEDAD	0.608	0.622	0.669	0.579	0.652	0.613
8	PATZCUARO	0.716	0.702	0.679	0.475	0.668	0.629
9	APATZINGAN	0.639	0.628	0.622	0.522	0.601	0.571
10	MANZANILLO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.3

Tabla No. 4.9

**EFICIENCIA TOTAL DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO CCR. (COMBINACIÓN 3 PERÍODO 2000-2005)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	EFICIENCIA TOTAL					
		2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	MORELIA	0.805	0.787	0.991	0.902	1.000	0.893
2	COLIMA	1.000	0.989	1.000	0.945	0.934	0.824
3	URUAPAN	0.859	0.825	0.854	0.934	0.890	0.804
4	ZAMORA	0.597	0.561	0.704	0.742	0.830	0.712
5	ZITACUARO	0.824	0.687	0.794	0.871	0.892	0.825
6	LAZARO CARDENAS	0.880	0.809	0.895	0.723	0.870	1.000
7	LA PIEDAD	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8	PATZCUARO	0.729	0.668	0.695	0.475	0.661	0.641
9	APATZINGAN	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	MANZANILLO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.4

Tabla No. 4.10

**4.3.3- ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉCNICA Y EFICIENCIA DE ESCALA CON MODELO BCC.**

Para evaluar la eficiencia técnica y la eficiencia de escala de las 10 zonas de distribución de la División Centro Occidente para el período señalado 2000-2005, utilizaremos el Modelo BCC con rendimientos variables a escala.

Primeramente los resultados obtenidos de la eficiencia total, eficiencia técnica y eficiencia de escala para el año 2000 se muestran en las tablas No. 4.11, 4.12 y 4.13.

**EFICIENCIA TOTAL, EFICIENCIA TÉCNICA Y EFICIENCIA DE ESCALA DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO BCC. (COMBINACIÓN 1 AÑO-2000)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCION	EFICIENCIA TOTAL	EFICIENCIA TÉCNICA	EFICIENCIA DE ESCALA	RENDIMIENTOS A ESCALA
1	MORELIA	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES
2	COLIMA	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES
3	URUAPAN	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES
4	ZAMORA	0.623	0.631	0.987	CRECIENTES
5	ZITACUARO	0.741	0.877	0.845	CRECIENTES
6	LAZARO CARDENAS	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES
7	LA PIEDAD	0.761	0.769	0.989	CRECIENTES
8	PATZCUARO	0.893	1.000	0.893	DECRECIENTES
9	APATZINGAN	0.862	0.949	0.908	DECRECIENTES
10	MANZANILLO	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.2

Tabla No. 4.11

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro  
Occidente Utilizando DEA

**EFICIENCIA TOTAL, EFICIENCIA TÉCNICA Y EFICIENCIA DE ESCALA DE  
LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO BCC.  
(COMBINACIÓN 2 AÑO-2000)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCION	EFICIENCIA TOTAL	EFICIENCIA TÉCNICA	EFICIENCIA DE ESCALA	RENDIMIENTOS A ESCALA
1	MORELIA	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES
2	COLIMA	0.983	1.000	0.983	DECRECIENTES
3	URUAPAN	0.808	1.000	0.808	CRECIENTES
4	ZAMORA	1.000	1.000	1.000	DECRECIENTES
5	ZITACUARO	0.586	0.711	0.824	CRECIENTES
6	LAZARO CARDENAS	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES
7	LA PIEDAD	0.608	0.743	0.818	CRECIENTES
8	PATZCUARO	0.716	0.919	0.779	CRECIENTES
9	APATZINGAN	0.639	0.895	0.714	CRECIENTES
10	MANZANILLO	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.3

Tabla No. 4.12

**EFICIENCIA TOTAL, EFICIENCIA TÉCNICA Y EFICIENCIA DE ESCALA DE  
LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO BCC.  
(COMBINACIÓN 3 AÑO-2000)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCION	EFICIENCIA TOTAL	EFICIENCIA TÉCNICA	EFICIENCIA DE ESCALA	RENDIMIENTOS A ESCALA
1	MORELIA	0.805	1.000	0.805	DECRECIENTES
2	COLIMA	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES
3	URUAPAN	0.859	0.937	0.917	CRECIENTES
4	ZAMORA	0.597	0.640	0.933	CRECIENTES
5	ZITACUARO	0.824	1.000	0.824	CRECIENTES
6	LAZARO CARDENAS	0.880	1.000	0.880	CRECIENTES
7	LA PIEDAD	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES
8	PATZCUARO	0.729	0.922	0.791	CRECIENTES
9	APATZINGAN	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES
10	MANZANILLO	1.000	1.000	1.000	CONSTANTES

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.4

Tabla No. 4.13

A continuación se mostrara en las tablas No. 4.14, 4.15 y 4.16 la eficiencia técnica de las 10 zonas de distribución para el período analizado:

**EFICIENCIA TÉCNICA DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO BCC. (COMBINACIÓN 1 PERÍODO 2000-2005)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	EFICIENCIA TÉCNICA					
		2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	MORELIA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	COLIMA	1.000	1.000	1.000	0.817	1.000	1.000
3	URUAPAN	1.000	1.000	0.876	0.833	0.809	0.828
4	ZAMORA	0.630	0.635	0.666	0.513	0.547	0.491
5	ZITACUARO	0.877	0.846	0.770	1.000	0.675	0.803
6	LAZARO CARDENAS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	LA PIEDAD	0.768	0.813	0.799	0.674	0.657	0.710
8	PATZCUARO	1.000	1.000	0.672	0.764	0.582	0.637
9	APATZINGAN	0.948	0.934	0.686	0.625	0.591	1.000
10	MANZANILLO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.2

Tabla No. 4.14

**EFICIENCIA TÉCNICA DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO BCC. (COMBINACIÓN 2 PERÍODO 2000-2005)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	EFICIENCIA TÉCNICA					
		2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	MORELIA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	COLIMA	1.000	0.706	1.000	0.741	0.815	0.905
3	URUAPAN	1.000	0.919	0.929	0.919	1.000	0.919
4	ZAMORA	1.000	1.000	1.000	0.983	1.000	0.963
5	ZITACUARO	0.710	0.742	0.755	1.000	0.837	0.716
6	LAZARO CARDENAS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	LA PIEDAD	0.743	0.767	0.989	1.000	0.997	0.808
8	PATZCUARO	0.919	0.862	0.894	0.853	0.913	0.849
9	APATZINGAN	0.895	0.891	1.000	0.933	0.871	0.641
10	MANZANILLO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.3

Tabla No. 4.15

**EFICIENCIA TÉCNICA DE LAS ZONAS DE DISTRIBUCIÓN BASADOS EN EL MODELO BCC. (COMBINACIÓN 3 PERÍODO 2000-2005)**

DMU'S	ZONA DE DISTRIBUCIÓN	EFICIENCIA TÉCNICA					
		2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	MORELIA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	COLIMA	1.000	1.000	1.000	1.000	0.942	1.000
3	URUAPAN	0.937	0.944	0.975	1.000	0.959	0.825
4	ZAMORA	0.640	0.606	0.716	0.761	0.842	0.759
5	ZITACUARO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	LAZARO CARDENAS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	LA PIEDAD	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8	PATZCUARO	0.922	0.926	0.861	0.822	0.737	0.781
9	APATZINGAN	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	MANZANILLO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando los datos de la tabla no. 4.4.

Tabla No. 4.16

**4.3.4- ANÁLISIS DE LAS VARIABLES SLACKS EN CASO DE ESTUDIO**

Como se comento en el capítulo anterior, el análisis de las variables slacks permite conocer en cual dirección deberán de mejorar las zonas de distribución que resultaron ineficientes después de haberseles realizado su evaluación.

Donde los valores de los outputs slacks representan el nivel adicional de outputs necesarios para convertir las zonas ineficientes en eficientes. Mientras que los valores de los inputs slacks representan las reducciones necesarias de los inputs correspondientes para convertir las zonas en eficientes.

# RESULTADOS

## **ANÁLISIS ANUAL DE LA EFICIENCIA.-**

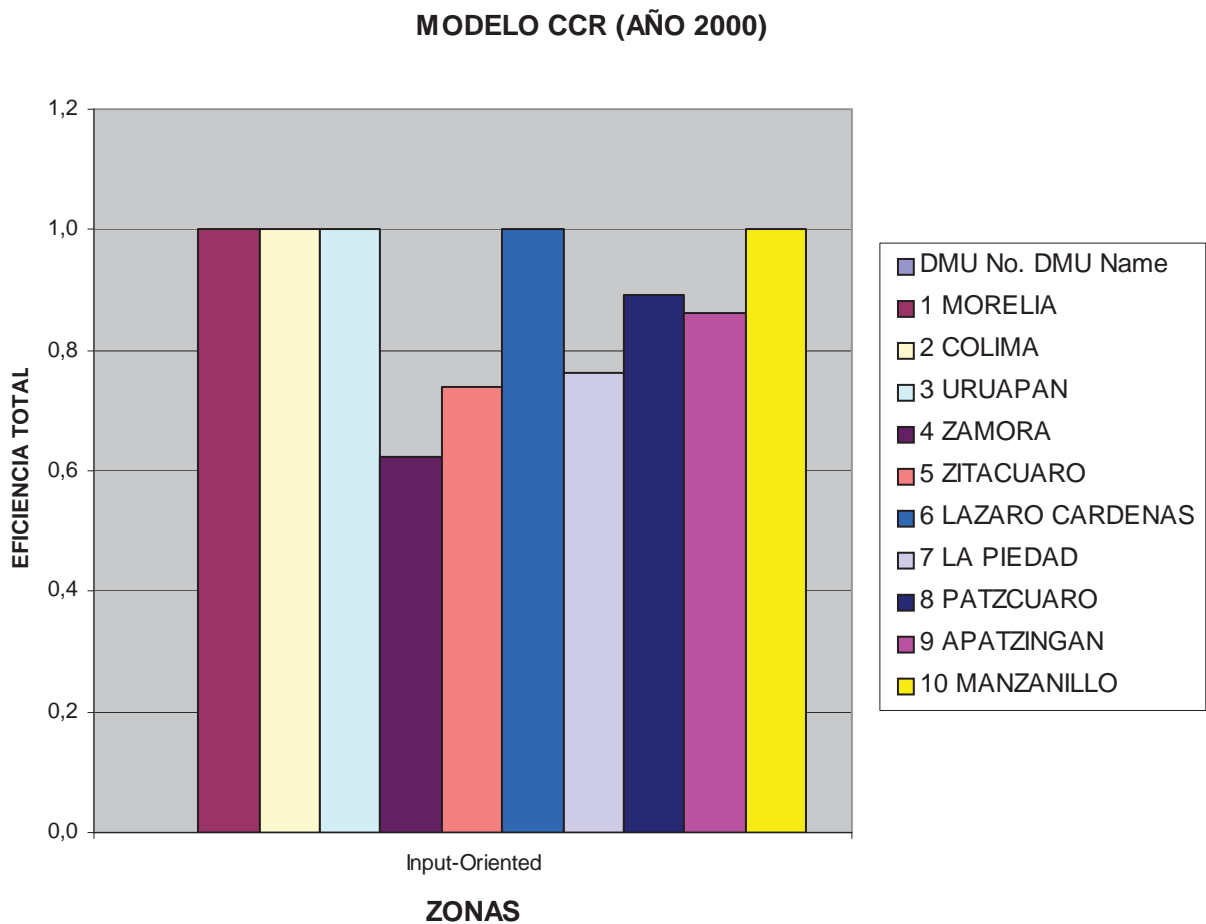
Se planteara y abordara en primera instancia el análisis de los resultados de las 10 zonas de distribución que conforman a la División Centro Occidente y como muestra se plasman los valores del año 2000, el cual esta comprendido dentro del período establecido (2000-2005), una vez que se les aplicaron los modelos CCR y BCC., los cuales se describen a continuación:

### **Modelo CCR (combinación 1)**

Se obtuvieron como resultados de la División Centro Occidente, que en 5 de sus zonas de distribución eléctrica son relativamente eficientes. Siendo estas zonas con una eficiencia total igual a 1, Morelia, Colima, Uruapan, Lázaro Cárdenas y Manzanillo, tal y como se observa en la Figura No. 5.1.

En tanto que el nivel promedio de eficiencia de todas las zonas fue de 0.888, esto denota que los recursos utilizados para este año no fue el mas adecuado.

Dentro de las zonas con mayores niveles de ineficiencia se encuentran Zamora, Zitácuaro y La Piedad.



Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

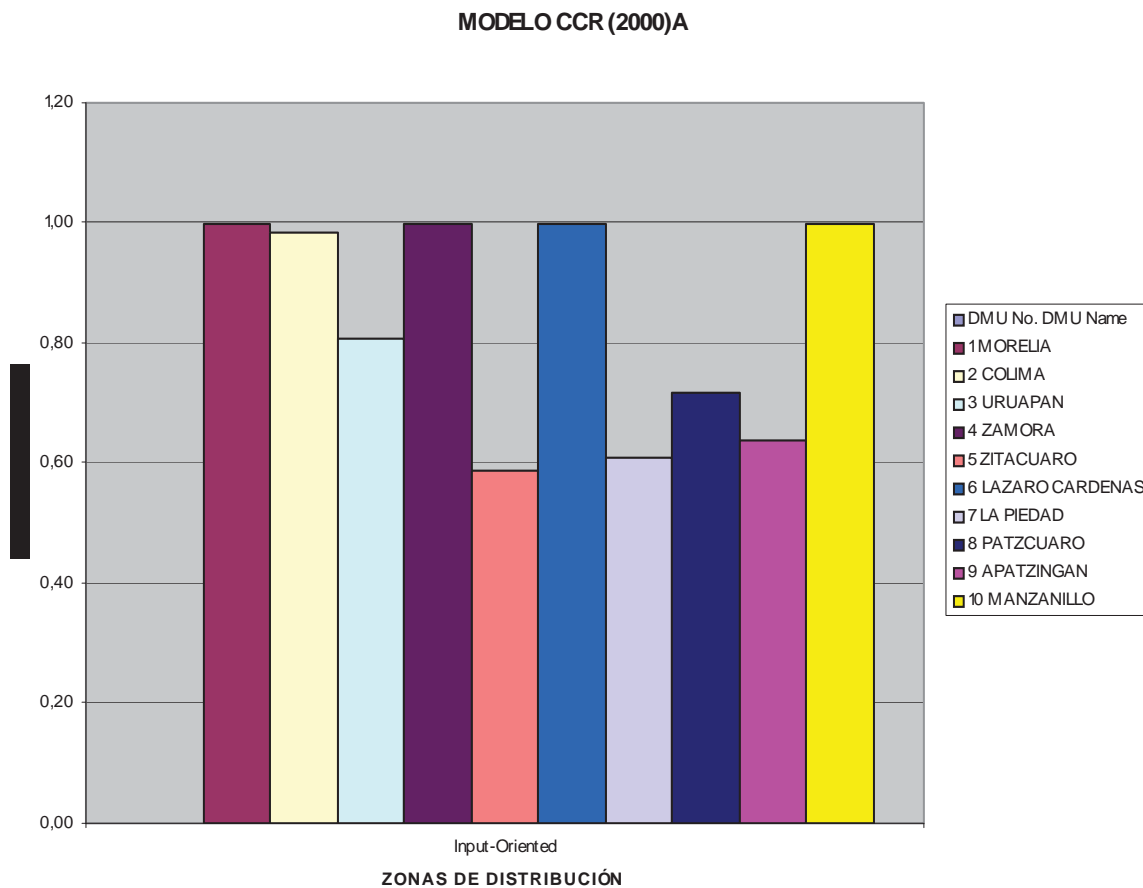
Figura No.5.1

## **Modelo CCR (combinación 2)**

Se obtuvieron como resultados, que 4 de sus zonas de distribución eléctrica son relativamente eficientes. Siendo estas zonas con una eficiencia total igual a 1, Morelia, Zamora, Lázaro Cárdenas y Manzanillo, tal y como se observa en la Figura No. 5.2.

En tanto que el nivel promedio de eficiencia de todas las zonas fue de 0.834, esto denota que los recursos utilizados para este año no fue el mas adecuado.

Dentro de las zonas con mayores niveles de ineficiencia se encuentran Zitácuaro, La Piedad, Apatzingan y Pátzcuaro.



Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Figura No. 5.2.

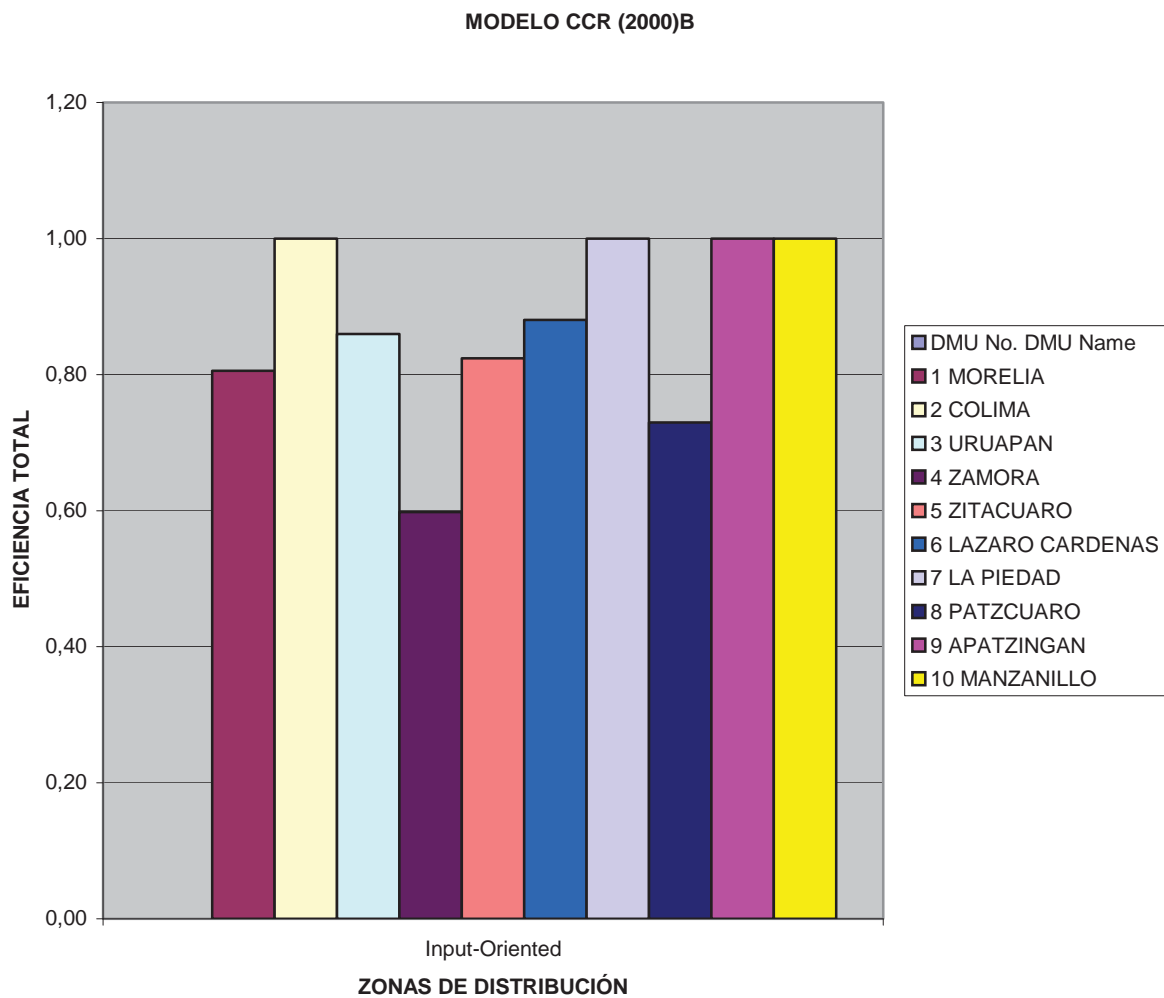
### Modelo CCR (combinación 3)

Se obtuvieron como resultados, que 4 de sus zonas de distribución eléctrica son relativamente eficientes. Siendo estas zonas con una eficiencia total igual a 1, Colima, La Paz, Apatzingan y Manzanillo, tal y como se observa en la Figura No. 5.3.

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

En tanto que el nivel promedio de eficiencia de todas las zonas fue de 0.869, esto denota que los recursos utilizados para este año no fue el mas adecuado.

Dentro de las zonas con mayores niveles de ineficiencia se encuentran Zamora, Pátzcuaro, Morelia y Zitácuaro.



Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Figura No. 5.3.

Estos resultados, ponen de manifiesto la necesidad urgente de mejorar los niveles de referencia. La mayor ineficiencia en las zonas puede ser debida a ineficiencias técnicas ó de escala, aspectos importantes a identificar, haciéndose necesario la instrumentación del modelo BCC para evaluarlos.

De la misma forma se presentan los resultados obtenidos para las 10 zonas de distribución al utilizar el modelo BCC.

### **Modelo BCC (escenario 1)**

Aquí encontramos que 3 de las 4 zonas ineficientes -Zitacuaro, Patzcuaro y Apatzingan- tuvieron la eficiencia técnica más alta que sus correspondientes eficiencias de escala. Es importante señalar que la zona de distribución que tiene una eficiencia de escala menor que uno, es considerada como una zona con escala ineficiente.

Los resultados obtenidos implican que las ineficiencias totales de las 5 zonas son en primera instancia debidas a ineficiencias de escala.

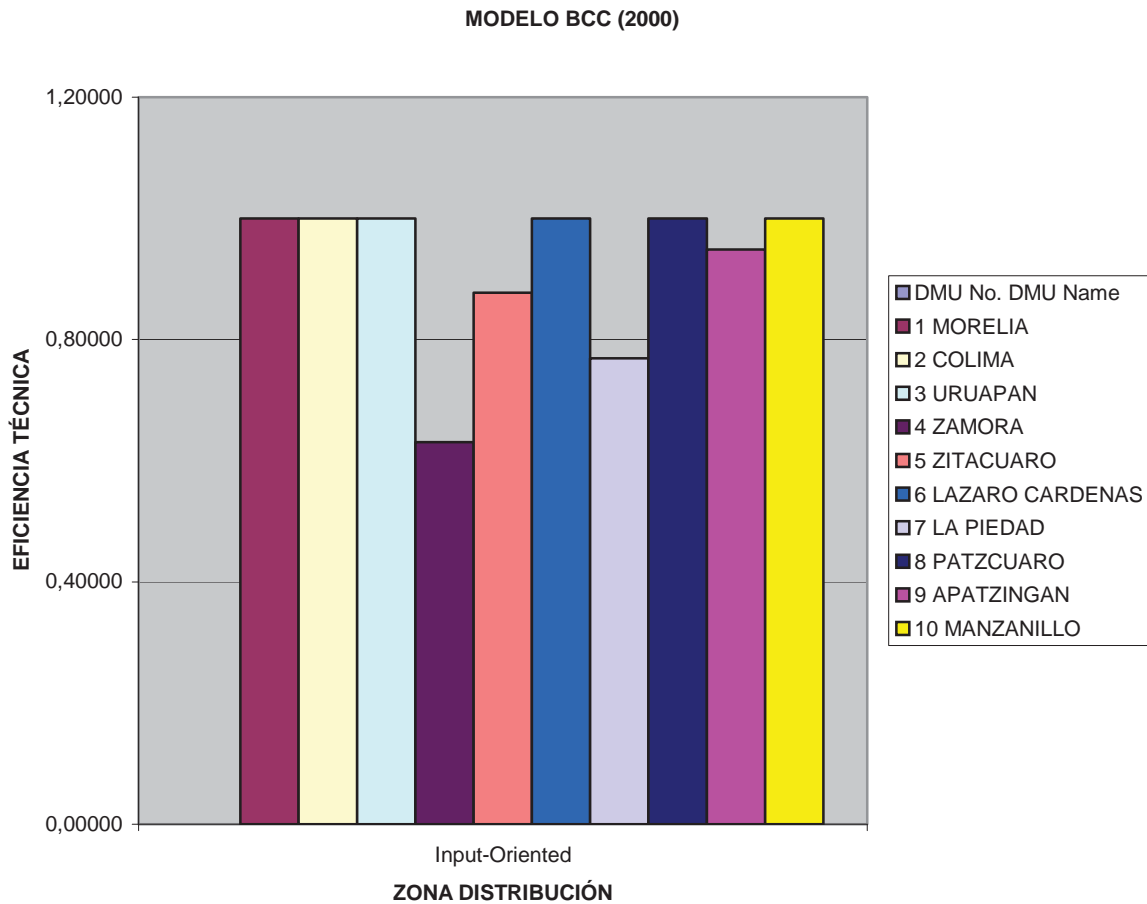
Patzcuaro es una zona que tiene una eficiencia técnica igual a 1, pero la eficiencia de escala es menor que 1, por lo que esta zona es técnicamente eficiente pero tiene una escala ineficiente. Deberá entonces en este caso, reducir su escala de operación para mejorar su

eficiencia total, toda vez que se tienen aquí rendimientos decrecientes a escala.

Las otras 3 zonas ineficientes -Zamora, Zitacuaro y La Piedad- presentan principalmente ineficiencia técnica. Para incrementar su eficiencia total, deberán mejorar la eficiencia técnica en la asignación y utilización de sus recursos, además de reducir su escala de operación.

Las únicas zonas que tienen eficiencia total de 1, así como eficiencia de escala y eficiencia técnica igual a 1, son Morelia, Colima, Uruapan, Lázaro Cárdenas y Manzanillo, presentando así rendimientos constantes a escala.

En la Figura No. 5.4 se muestran los valores de la eficiencia técnica obtenida con el modelo BCC para el año 2000.



Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Figura No. 5.4.

### Modelo BCC (escenario 2)

Aquí encontramos que las 6 zonas ineficientes –Colima, Uruapan, Zitacuaro, La Piedad, Patzcuaro y Apatzingan- tuvieron la eficiencia técnica más alta que sus correspondientes eficiencias de escala. Es importante señalar que la zona de distribución que tiene una eficiencia de escala menor que uno, es considerada como una zona con escala ineficiente.

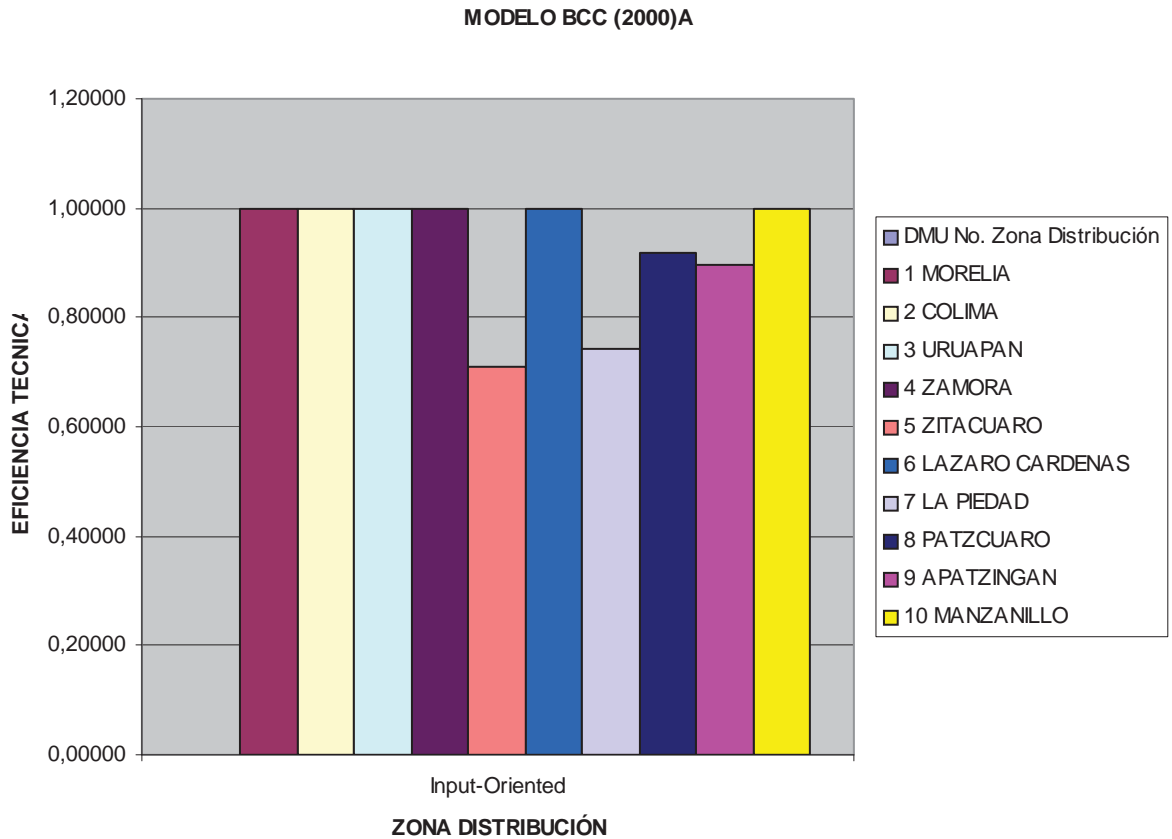
Los resultados obtenidos implican que las ineficiencias totales de las 6 zonas son en primera instancia debidas a ineficiencias de escala.

Colima y Uruapan son unas zonas que tienen una eficiencia técnica igual a 1, pero la eficiencia de escala es menor que 1. Por lo que estas zonas son técnicamente eficientes pero tienen una escala ineficiente. Deberán entonces en este caso, reducir su escala de operación para mejorar su eficiencia total, porque se tienen aquí rendimientos decrecientes a escala.

Las otras 4 zonas ineficientes –Zitacuaro, La Piedad, Patzcuaro y Apatzingan- presentan principalmente ineficiencia técnica. Para incrementar su eficiencia total, deberán mejorar la eficiencia técnica en la asignación y utilización de sus recursos, además de reducir su escala de operación.

Las únicas zonas que tienen eficiencia total así como eficiencia de escala y eficiencia técnica igual a 1, son Morelia, Zamora, Lázaro Cárdenas y Manzanillo, presentando así rendimientos constantes a escala.

En la Figura No. 5.5 se muestran los valores de la eficiencia técnica obtenida con el modelo BCC para el año 2000 (escenario 2).



Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Figura No. 5.5.

### Modelo BCC (escenario 3)

Aquí encontramos que las 5 de las 6 zonas ineficientes – Morelia, Uruapan, Zitacuaro, Lázaro Cárdenas y Patzcuaro- tuvieron la eficiencia técnica más alta que sus correspondientes eficiencias de escala. Es importante señalar que la zona de distribución que tiene

una eficiencia de escala menor que uno, es considerada como una zona con escala ineficiente.

Los resultados obtenidos implican que las ineficiencias totales de las 5 zonas son en primera instancia debidas a ineficiencias de escala.

Morelia, Zitacuaro y Lázaro Cárdenas son unas zonas que tienen una eficiencia técnica igual a 1, pero la eficiencia de escala es menor que 1. Por lo que estas zonas son técnicamente eficientes pero tienen una escala ineficiente. Deberán entonces en este caso, reducir su escala de operación para mejorar su eficiencia total, porque se tienen aquí rendimientos decrecientes a escala.

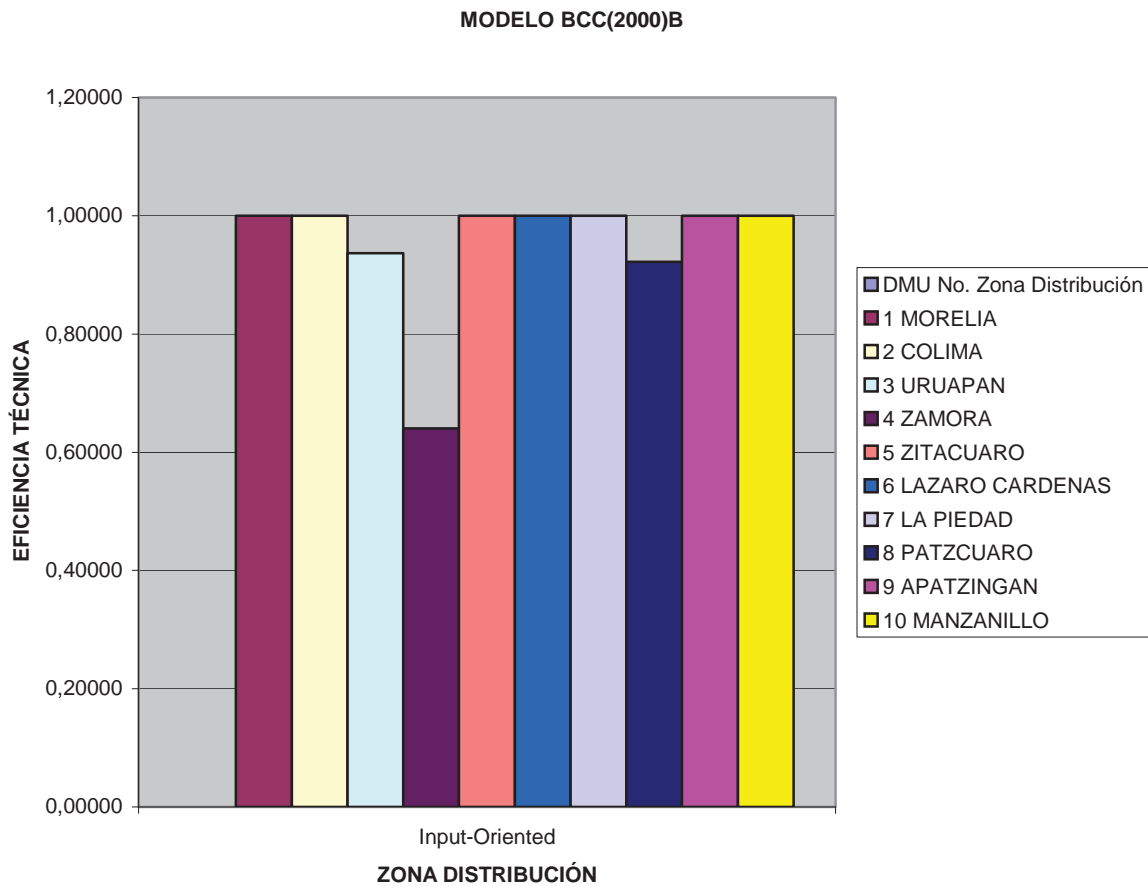
Las otras 3 zonas ineficientes –Uruapan, Zamora y Patzcuaro- presentan principalmente ineficiencia técnica. Para incrementar su eficiencia total, deberán mejorar la eficiencia técnica en la asignación y utilización de sus recursos, además de reducir su escala de operación.

Las únicas zonas que tienen eficiencia total de 1, así como eficiencia de escala y eficiencia técnica igual a 1, son Colima, La Piedad, Apatzingan y Manzanillo, presentando así rendimientos constantes a escala.

En la Figura No. 5.6 se muestran los valores de la eficiencia técnica obtenida con el modelo BCC para el año 2000 (escenario 3).

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

---



Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Figura No. 5.6.

Cabe señalar que estos análisis se realizaron para cada uno de los años considerados en el período de estudio, con los 2 modelos propuestos.

## **ANÁLISIS ANUAL DE ESTIMACIONES DE METAS OPTIMAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA.- (SLACKS)**

De los resultados obtenidos con el modelo CCR y para ejemplificar esta situación de convertir las zonas ineficientes en eficientes (año 2000) se puede tomar como acción incrementar sus ventas (incrementar los outputs slacks) para lograr mejorar su eficiencia. Tal es la situación, de las zonas de Patzcuaro y Zitácuaro que necesitan un aumento de 61,710.3 y 42,767.7 MWH respectivamente de ventas de energía para convertirse en zonas eficientes.

Por lo que se refiere al valor de los inputs slacks, las zonas ineficientes pueden reducir el uso de alguno de sus recursos para lograr mejorar su eficiencia. En este sentido, Zitácuaro, Pátzcuaro y Apatzingan deben reducir 6.662, 6.098 y 6.483 respectivamente de unidades de pérdidas de energía para convertirse en zonas eficientes. Zamora y La Piedad zonas que tienen mayores niveles de ineficiencia deben de reducir 3.926 y 2.145 unidades de pérdidas de energía para convertirse en zonas eficientes.

Esto anterior se visualiza en las tablas No. 5.1 y 5.2.

DMU No.	ZONA DISTRIBUCION	<i>Input Slacks</i>		
		<i>GASTOS EXPLOTACION</i>	<i>PERDIDAS</i>	<i>LONGITUD DE LINEAS</i>
1	MORELIA	0,00000	0,00000	0,00000
2	COLIMA	0,00000	0,00000	0,00000
3	URUAPAN	0,00000	0,00000	0,00000
4	ZAMORA	0,00000	3,92669	0,00000
5	ZITACUARO	0,00000	6,66280	496,03885
6	LAZARO CARDENAS	0,00000	0,00000	0,00000
7	LA PIEDAD	0,00000	2,14524	241,69959
8	PATZCUARO	0,00000	6,09819	1956,32172
9	APATZINGAN	0,00000	6,48326	1097,10009
10	MANZANILLO	0,00000	0,00000	0,00000

Tabla No. 5.1

TIU	<i>Output Slacks</i>	
	<i>ENERGIA VENDIDA</i>	
0,00000	0,00000	0,00000
0,00000	0,00000	0,00001
0,00000	0,00000	0,00001
0,00000	0,00000	0,00000
0,00000	61710,39823	0,00000
0,00000	0,00000	0,00000
0,00000	0,00000	0,00001
0,00000	42767,76691	0,00000
0,00000	0,00000	0,00001
0,00000	0,00000	0,00000

Fuente: De Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Tabla No. 5.2

En las tablas No. 5.3 y 5.4 se muestran las metas óptimas que deben de tener cada una de las zonas de distribución ineficientes para mejorar su eficiencia.

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

---

DMU No.	ZONA DISTRIBUCIÓN	Efficient Input Target		
		GASTOS EXPLOTACION	PERDIDAS	LONGITUD DE LINEAS
1	MORELIA	75804,00000	8,85000	1849,84500
2	COLIMA	40981,00000	5,67000	3648,95400
3	URUAPAN	30176,00000	6,31000	2498,94500
4	ZAMORA	31989,80897	2,81293	2144,75303
5	ZITACUARO	24257,22904	0,32920	874,10351
6	LAZARO CARDENAS	28737,00000	0,39000	1035,53100
7	LA PIEDAD	29632,28749	6,09188	2463,11146
8	PATZCUARO	33165,83253	0,45011	1195,12293
9	APATZINGAN	31845,65193	2,17584	1564,68065
10	MANZANILLO	29565,00000	3,83000	2420,25700

Fuente: De Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Tabla No. 5.3

Efficient Output Target	
TIU	ENERGIA VENDIDA
47,20100	913733,00000
73,54300	771710,00001
77,91200	371289,00001
71,71000	471862,00000
69,05000	223262,39823
81,80200	264494,00000
75,34600	374233,00001
94,40900	305256,76691
88,29100	320751,00001
42,42900	573099,00000

Fuente: De Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Tabla No. 5.4

Se hace énfasis en señalar que este análisis se desarrollo para cada uno de los años considerados en el período analizado (2000-2005). Por lo tanto tendremos un análisis similar para los resultados obtenidos de la eficiencia técnica con el modelo BCC.

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

---

Esto se muestra en las tablas No. 5.5 y 5.6.

DMU No.	Zona Distribución	<i>Input Slacks</i>		
		<i>GASTOS EXPLOTACION</i>	<i>PERDIDAS</i>	<i>LONGITUD DE LINEAS</i>
1	MORELIA	0,00000	0,00000	0,00000
2	COLIMA	0,00000	0,00000	0,00000
3	URUAPAN	0,00000	0,00000	0,00000
4	ZAMORA	0,00000	3,67640	0,00000
5	ZITACUARO	0,00000	7,89328	587,64620
6	LAZARO CARDENAS	0,00000	0,00000	0,00000
7	LA PIEDAD	0,00000	3,03968	440,78241
8	PATZCUARO	0,00000	0,00000	0,00000
9	APATZINGAN	0,00000	4,45910	131,63182
10	MANZANILLO	0,00000	0,00000	0,00000

Fuente: De Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Tabla No. 5.5

<b>Output Slacks</b>	
<b>TIU</b>	<b>ENERGIA VENDIDA</b>
0,00000	0,00000
0,00000	0,00000
0,00000	0,00000
0,00000	0,00000
12,75200	102942,00000
0,00000	0,00000
0,00000	0,00000
0,00000	0,00000
0,00000	0,00000
0,00000	0,00000

Fuente: De Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Tabla No. 5.6

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

---

En las tablas No. 5.7 y 5.8 se muestran las metas óptimas que deben de tener cada una de las zonas de distribución ineficientes para mejorar su eficiencia técnica.

<b>DMU No.Zona Distribución</b>	<b>Efficient Input Target</b>		
	<b>GASTOS EXPLOTACION</b>	<b>PERDIDAS</b>	<b>LONGITUD DE LINEAS</b>
1 MORELIA	75804,00000	8,85000	1849,84500
2 COLIMA	40981,00000	5,67000	3648,95400
3 URUAPAN	30176,00000	6,31000	2498,94500
4 ZAMORA	32365,21041	3,14231	2169,92178
5 ZITACUARO	28737,00000	0,39000	1035,53100
6 LAZARO CARDENAS	28737,00000	0,39000	1035,53100
7 LA PIEDAD	29924,60050	5,27869	2290,71074
8 PATZCUARO	37125,00000	7,33000	3527,64800
9 APATZINGAN	35063,21615	5,07488	2799,08518
10 MANZANILLO	29565,00000	3,83000	2420,25700

Fuente: De Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Tabla No. 5.7

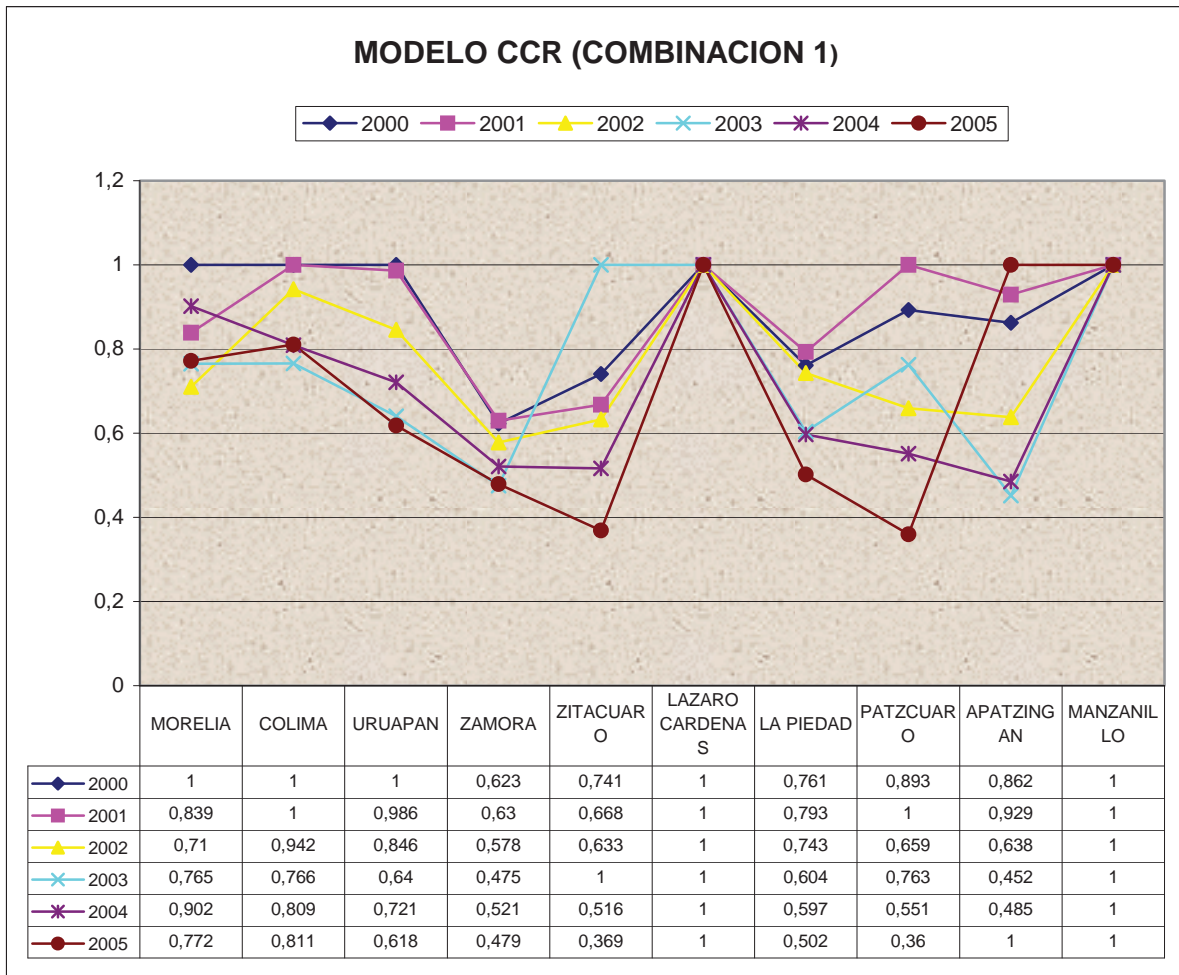
<b>TIU</b>	<b>Efficient Output Target</b>
	<b>ENERGIA VENDIDA</b>
47,20100	913733,00000
73,54300	771710,00000
77,91200	371289,00000
71,71000	471862,00000
81,80200	264494,00000
81,80200	264494,00000
75,34600	374233,00000
94,40900	262489,00000
88,29100	320751,00000
42,42900	573099,00000

Fuente: De Cálculos realizados con la técnica DEA utilizando el programa DEA Frontier.

Tabla No. 5.8

## ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL PERÍODO 2000-2005.-

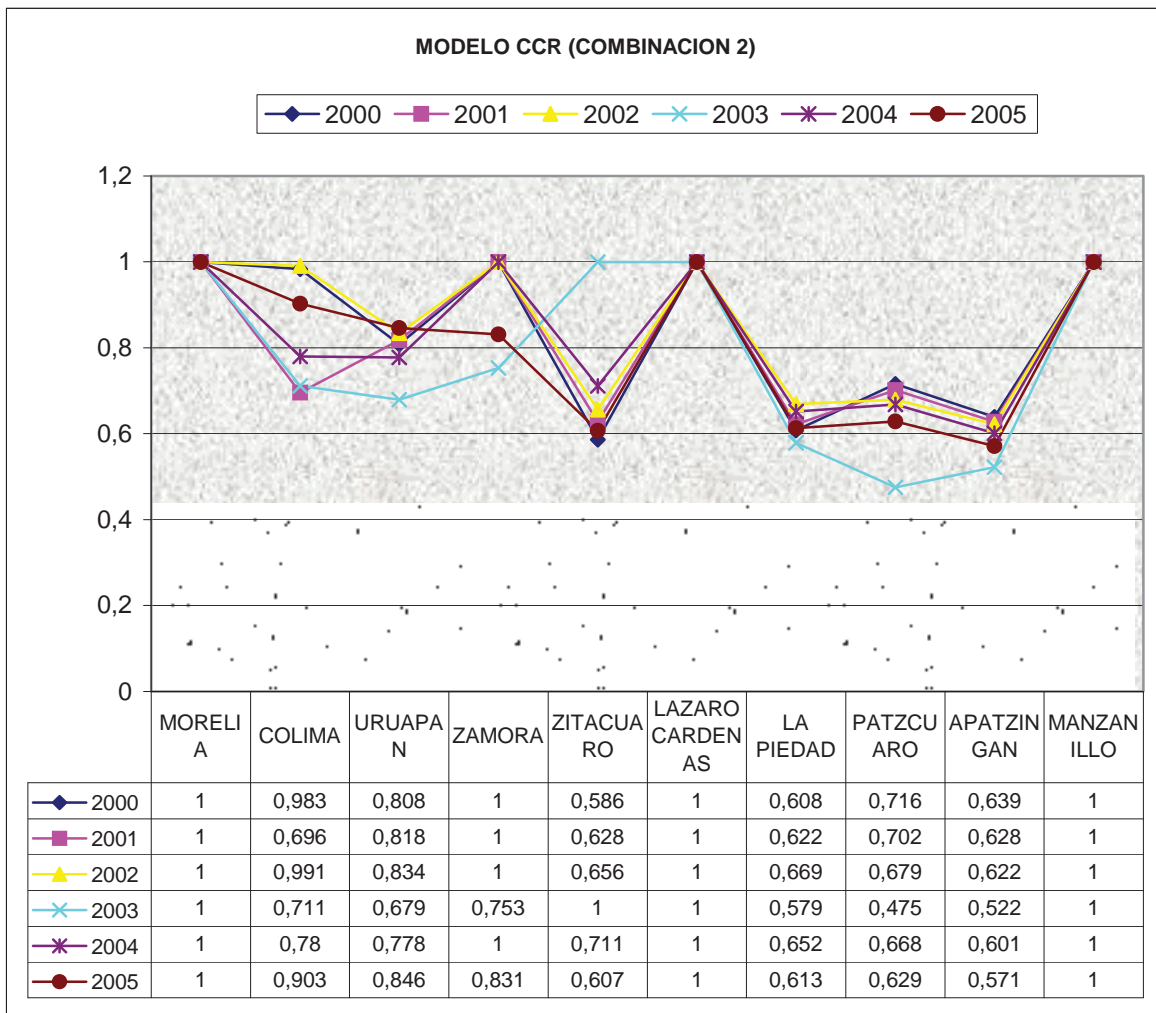
La evolución que se tiene en la eficiencia total de cada una de las zonas de distribución con el modelo CCR en el período analizado, para cada una de las combinaciones se muestra en las Figuras No. 5.7, 5.8 y 5.9.



Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA-CCR .

Figura No. 5.7.

Aquí se observa solamente que las zonas de Lázaro Cárdenas y Manzanillo mantuvieron un comportamiento estable al tener una eficiencia total de 1 en todos los años del período analizado.



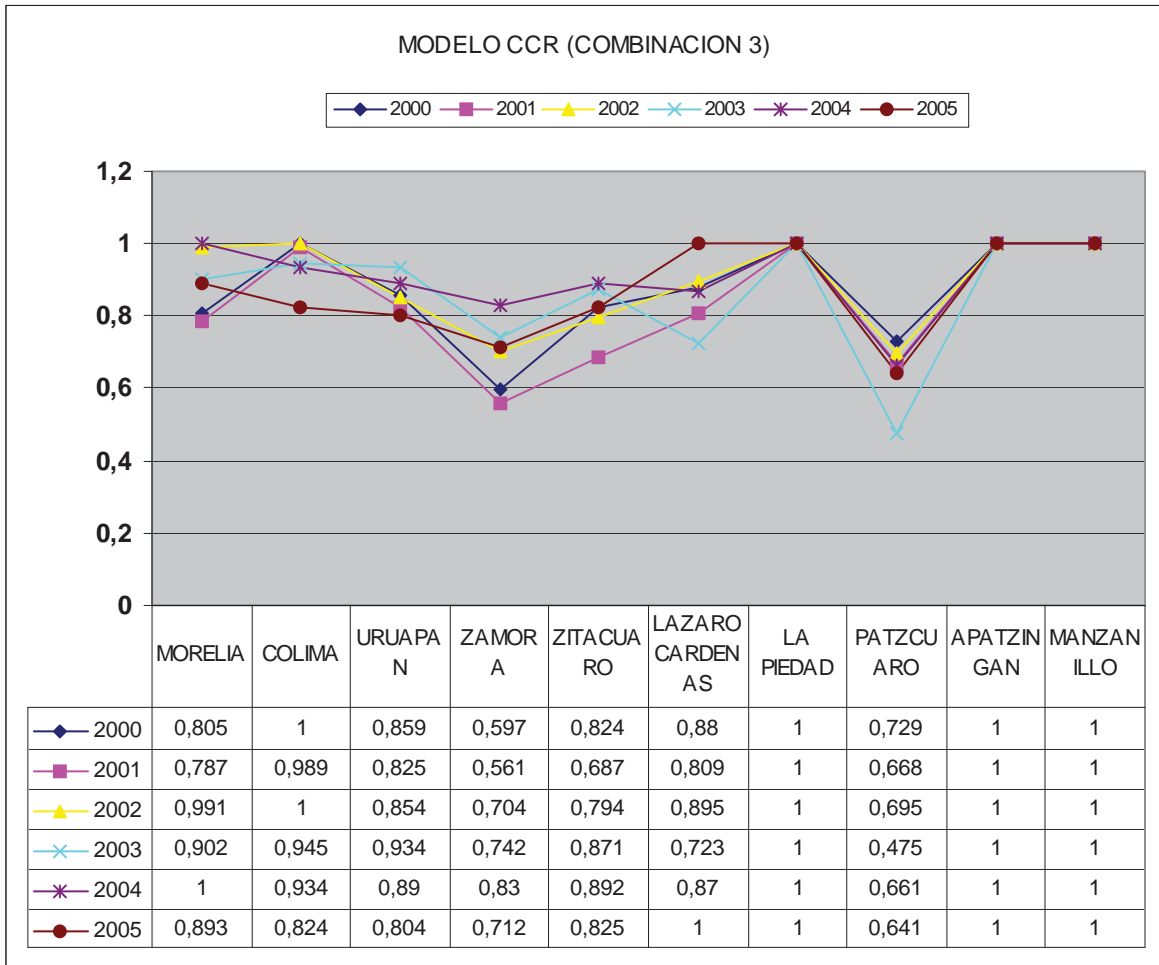
Fuente: Elaboración propia con base en: Cálculos realizados con la técnica DEA-CCR

Figura No. 5.8.

Aquí se observa solamente que las zonas de Morelia, Lázaro Cárdenas y Manzanillo mantuvieron un comportamiento estable al

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

tener una eficiencia total de 1 en todos los años del período analizado, y la Zona Zamora en cuatro de los años.

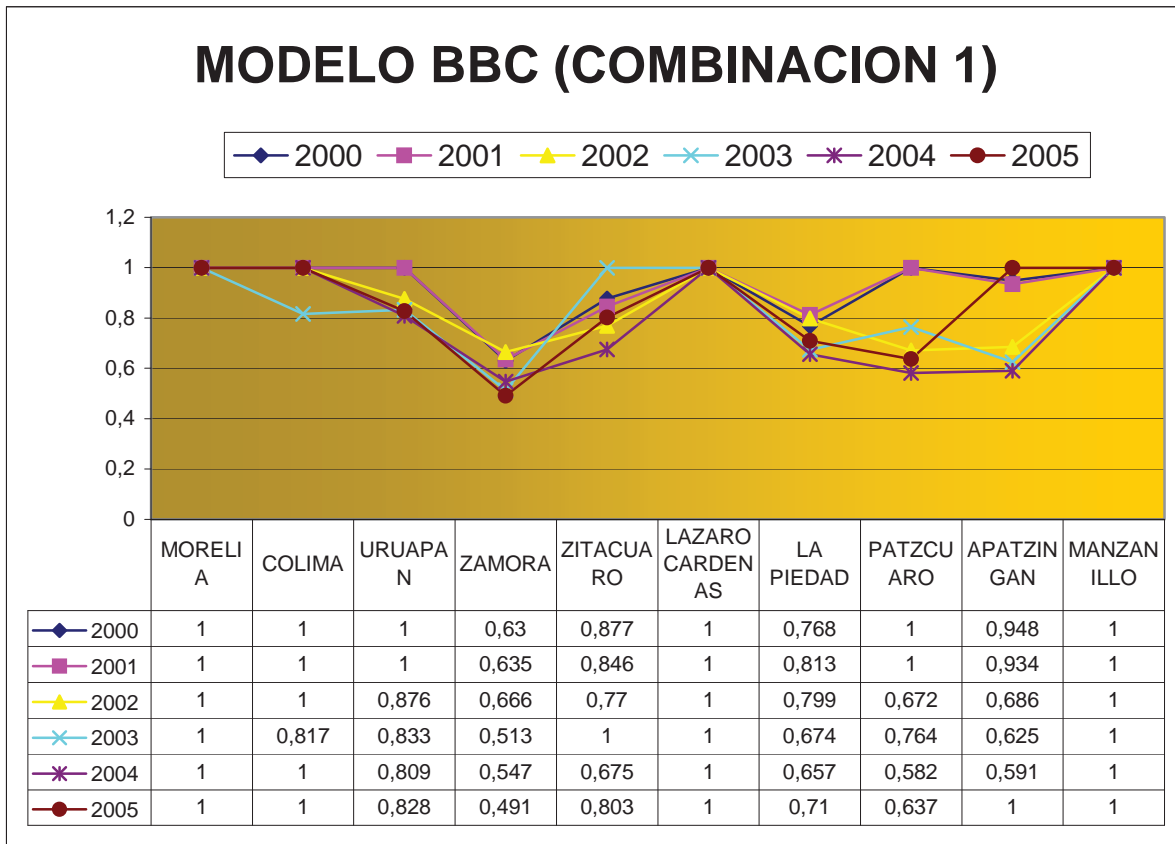


Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA-CCR.

Figura No. 5.9.

Aquí se observa que solamente las zonas de La Piedad, Apatzingan y Manzanillo mantuvieron un comportamiento estable al tener una eficiencia total de 1 en todos los años del período analizado.

Por lo que respecta a la evolución que se tiene en la eficiencia técnica de cada una de las zonas de distribución con el modelo BCC en el período analizado, para cada una de las combinaciones se muestra en las Figuras No. 5.10, 5.11 y 5.12.

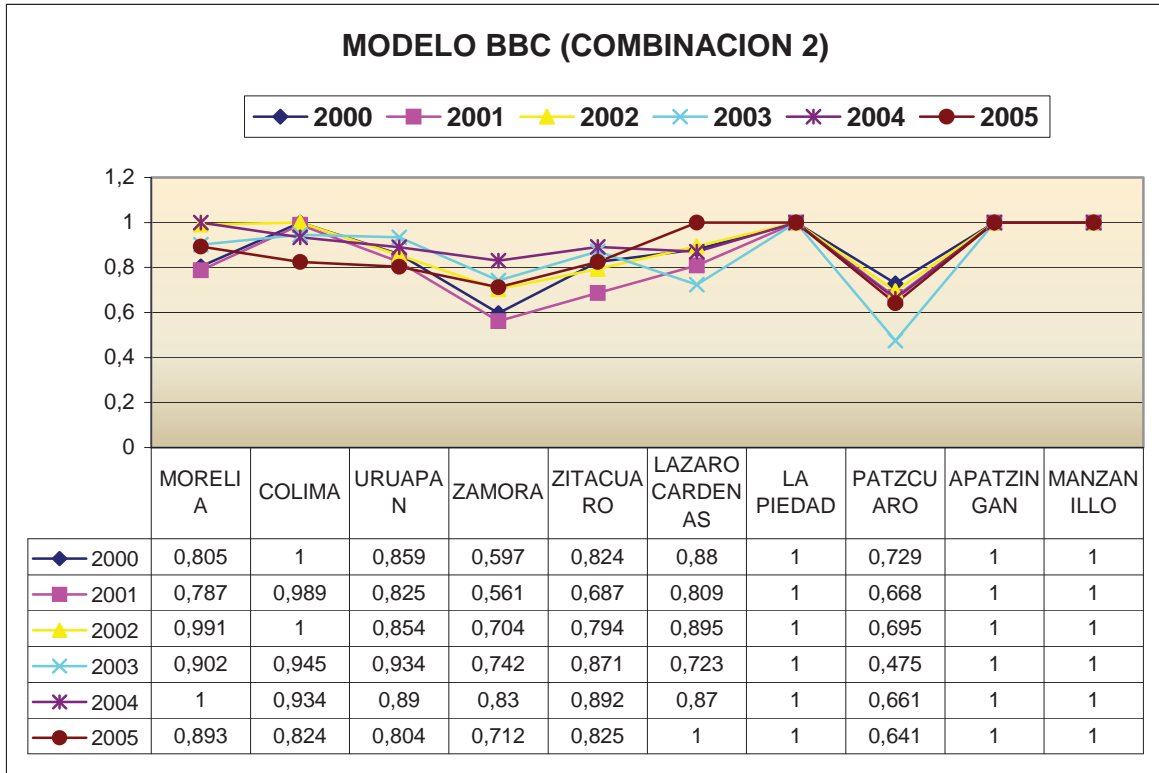


Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA-BCC

Figura No. 510.

Aquí se observa que solamente las zonas de Morelia, Lázaro Cárdenas y Manzanillo mantuvieron un comportamiento estable al tener una eficiencia técnica de 1 en todos los años del período analizado, y la Zona Colima en cinco de los 6 años.

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

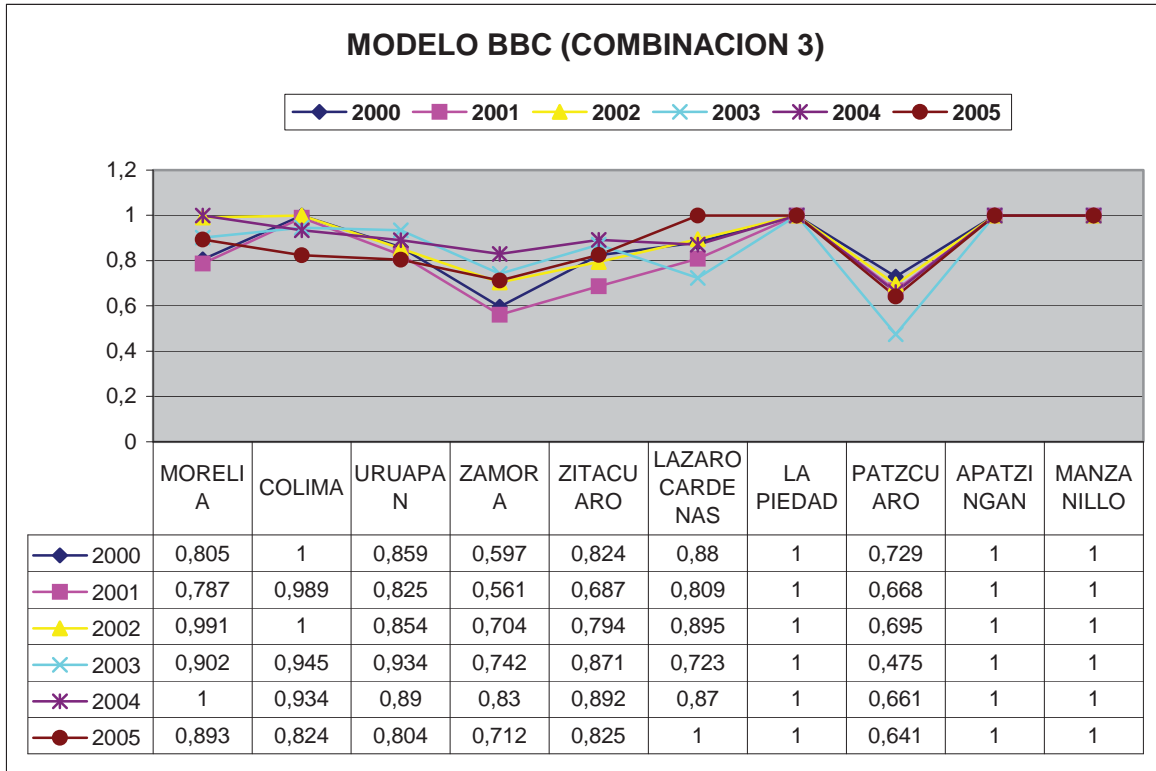


Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA-BCC

Figura No. 5.11.

Aquí se observa que solamente las zonas de La Piedad, Apatzingan y Manzanillo mantuvieron un comportamiento estable al tener una eficiencia técnica de 1 en todos los años del período analizado.

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA



Fuente: Elaboración propia con base en : Cálculos realizados con la técnica DEA-BCC

Figura No. 5.12.

Aquí se observa que solamente las zonas de La Piedad, Apatzingan y Manzanillo mantuvieron un comportamiento estable al tener una eficiencia técnica de 1 en todos los años del período analizado.

**ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN IDEAL.-**

Se presenta el análisis de la situación ideal que debe de prevalecer en la evaluación del desempeño de la distribución eléctrica en la División Centro Occidente al aplicar el modelo DEA

comparándolo con los resultados obtenidos con la utilización del procedimiento vigente.

En las Tablas Nos. 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 y 5.14 se muestran los resultados de los niveles de eficiencia obtenidos en la actualidad para cada una de las zonas con la metodología vigente.

### EVALUACION ZONAS 2000

NO.	ZONA	RESULTADO	NIVEL
1.	URUAPAN	85.71	BUENO
2.	ZAMORA	84.83	BUENO
3.	PATZCUARO	83.21	REGULAR
4.	MANZANILLO	81.48	NO ACEPTABLE
5.	MORELIA	81.46	NO ACEPTABLE
6.	LA PIEDAD	79.58	NO ACEPTABLE
7.	L. CARDENAS	79.43	NO ACEPTABLE
8.	COLIMA	79.09	NO ACEPTABLE
9.	APATZINGAN	72.91	NO ACEPTABLE
10.	ZITACUARO	70.67	NO ACEPTABLE

Fuente: Elaboración propia con base en : Comisión Federal de Electricidad, Información Básica CIMA DEVO 2000 .

Tabla No. 5.9

Como se observa en los resultados de evaluación del año 2000, solo 2 zonas presentan nivel de desempeño de bueno, 1 de regular y 7 de no aceptable.

### EVALUACION ZONAS 2001

NO.	ZONA	RESULTADO	NIVEL
1.	URUAPAN	85.71	BUENO
2.	ZAMORA	84.83	BUENO
3.	PATZCUARO	83.21	REGULAR
4.	MANZANILLO	81.48	NO ACEPTABLE
5.	MORELIA	81.46	NO ACEPTABLE
6.	LA PIEDAD	79.58	NO ACEPTABLE
7.	L. CARDENAS	79.43	NO ACEPTABLE
8.	COLIMA	79.09	NO ACEPTABLE
9.	APATZINGAN	72.91	NO ACEPTABLE
10.	ZITACUARO	70.67	NO ACEPTABLE

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro  
Occidente Utilizando DEA

Fuente: Elaboración propia con base en : Comisión Federal de Electricidad, Información Básica CIMA DEVO 2001.

Tabla No. 5.10

Aquí se observa en los resultados de evaluación del año 2001, que solo 2 zonas presentan nivel de desempeño de bueno, 1 de regular y 7 de no aceptable.

EVALUACION ZONAS 2002

NO.	ZONA	RESULTADO	NIVEL
1	ZAMORA	96.15	EXCELENTE
2	URUAPAN	92.30	EXCELENTE
3	PATZCUARO	92.23	EXCELENTE
4	COLIMA	92.14	EXCELENTE
5	LA PIEDAD	91-32	EXCELENTE
6	MANZANILLO	90.83	BUENO
7	MORELIA	89.38	BUENO
8	LAZARO CARDENAS	86.44	REGULAR
9	ZITACUARO	86.36	REGULAR
10	APATZINGAN	85.10	REGULAR

Fuente: Elaboración propia con base en : Comisión Federal de Electricidad, Información Básica CIMA DEVO 2002.

Tabla No. 5.11

Como se observa en los resultados de evaluación del año 2002, aquí 5 zonas presentan nivel de desempeño de excelente, 2 de bueno y 3 de regular.

EVALUACION ZONAS 2003

NO.	ZONA	RESULTADO	NIVEL
1.	ZAMORA	96.48	EXCELENTE
2.	COLIMA	93.97	EXCELENTE
3.	LA PIEDAD	92.60	EXCELENTE
4.	PATZCUARO	92.54	EXCELENTE
5.	URUAPAN	92.53	EXCELENTE
6.	MORELIA	91.96	EXCELENTE
7.	MANZANILLO	91.43	EXCELENTE
8.	LAZARO CARDENAS	90.05	BUENO
9.	ZITACUARO	86.55	REGULAR
10.	APATZINGAN	85.64	REGULAR

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro  
Occidente Utilizando DEA

Fuente: Elaboración propia con base en : Comisión Federal de Electricidad, Información Básica CIMA DEVO 2003.

Tabla No. 5.12

Se observa en los resultados anteriores obtenidos del año 2003, que 7 de las zonas presentan nivel de desempeño de excelente, 1 de bueno y 2 de regular.

EVALUACION ZONAS 2004

NO.	ZONA	RESULTADO	NIVEL
1.	URUAPAN	93.50	EXCELENTE
2.	COLIMA	91.70	EXCELENTE
3.	ZITACUARO	90.30	BUENO
4.	MORELIA	89.70	BUENO
5.	MANZANILLO	89.50	BUENO
6.	ZAMORA	88.80	BUENO
7.	LAZARO CARDENAS	88.70	BUENO
8.	LA PIEDAD	87.20	BUENO
9.	PATZCUARO	86.60	BUENO
10.	APATZINGAN	85.80	REGULAR

Fuente: Elaboración propia con base en : Comisión Federal de Electricidad, Información Básica CIMA DEVO 2004.

Tabla No. 5.13

Como se observa en los resultados del año 2004, aquí solo 2 zonas presentan nivel de desempeño de excelente, 7 de bueno y 1 de regular.

EVALUACION ZONAS 2005

NO.	ZONA	RESULTADO	NIVEL
1.	COLIMA	93.48	EXCELENTE
2.	LA PIEDAD	92.95	EXCELENTE
3.	ZAMORA	92.73	EXCELENTE
4.	LAZARO CARDENAS	92.36	EXCELENTE
5.	PATZCUARO	90.28	BUENO
6.	MORELIA	89.30	BUENO
7.	MANZANILLO	87.61	BUENO
8.	URUAPAN	85.46	REGULAR
9.	APATZINGAN	83.30	REGULAR
10.	ZITACUARO	79.63	NO ACEPTABLE

Fuente: Elaboración propia con base en : Comisión Federal de Electricidad, Información Subdirección de Distribución 2005.

Tabla No. 5.14

Se observa en los resultados del año 2005, que 4 de las 10 zonas presentan nivel de desempeño de excelente, 3 de bueno, dos de regular y una de no aceptable.

Se puede observar que todos los resultados anteriores obtenidos con la metodología actual no muestran la situación ideal que debe prevalecer en una empresa de distribución eléctrica (zona de distribución), toda vez que los niveles de eficiencia asignados no proporcionan información alguna para tomar decisiones, ó buscar caminos para lograr que las diferentes zonas de distribución mejoren su eficiencia.

Situación que si es posible tener con el análisis de los resultados de incrementos outputs slacks y disminución de inputs slacks, generados al aplicar el modelo DEA propuesto.

## **ANÁLISIS DE NUEVAS TENDENCIAS DE INDICADORES EN LA DIVISIÓN CENTRO OCCIDENTE.-**

La División Centro Occidente ha tomado como referencia los principios de la metodología de la Organización Enfocada a la Estrategia, específicamente el Mapa de Estrategia, el Tablero de Mando Integral y las métricas que lo componen.

En lo que se refiere a los criterios de medición del Tablero de Mando Integral, estos se enmarcan en las cuatro perspectivas del Mapa de Estrategia:

- Clientes y Sociedad
- Competitividad
- Productividad de los Procesos
- Personas

A partir de aquí cada perspectiva contempla varios indicadores que contribuyen a lograr las 3 estrategias finales de la DCO.

En la Figura No. 5.13 se muestran las perspectivas del Tablero de Mando Integral y sus indicadores. Y en la Figura No. 5.14 se muestran las métricas utilizadas.

Debido a que en la División Centro Occidente se tiene en proceso de implantación y aplicación el Tablero de Mando Integral, se deduce que por la estructura de sus métricas, se tendrá la posibilidad de que se aplique el modelo DEA propuesto para la evaluación total de eficiencia de cada una de las 10 zonas de distribución.

PERSPECTIVAS DEL TABLERO DE MANDO INTEGRAL E INDICADORES

PERSPECTIVA	INDICADOR
1.- CLIENTES Y SOCIEDAD	SATISFACER LAS NECESIDADES LEGITIMAS DE LOS CLIENTES Y LA SOCIEDAD
	MAXIMIZAR LA RENTABILIDAD
	CUMPLIR LOS COMPROMISOS CON LOS CLIENTES
2.-COMPETITIVIDAD	RESPETAR LA NATURALEZA Y A TERCEROS
	EFICIENTAR LAS VENTAS
	INCREMENTAR INGRESOS
	MINIMIZAR COSTO DE OPERACIÓN
	MINIMIZAR LAS MERMAS
	ELIMINAR ROBOS DE ENERGIA
3.- PRODUCTIVIDAD DE LOS PROCESOS	UTILIZAR OPTIMAMENTE LOS ACTIVOS
	REALIZAR EFICIENTEMENTE LOS PROCESOS
	DIVERSIFICAR PRODUCTOS Y SERVICIOS
	DISEÑAR PROCESOS Y DOTARLES TECNOLOGIA Y RECURSOS
4.- PERSONAS	DISPONER DE LA INFRAESTRUCTURA NECESARIA
	DESARROLLAR NUEVAS CAPACIDADES
	FORMAR PROFESIONALES
	LOGRAR CULTURA ORGANIZACIONAL DE ALTO DESEMPEÑO

Figura No. 5.13

Evaluación del Desempeño de la Distribución Eléctrica en la División Centro Occidente Utilizando DEA

Fuente: Manual de Métricas Tablero de Mando Integral CFE 2005

MÉTRICAS	UNIDAD
1. CALIFICACION DE SATISFACCION DEL CLIENTE	Puntos
2. LEALTAD DE LA CLIENTELA	%
3. GRADO DE ELECTRIFICACION	%
4. HONESTIDAD Y TRANSPARENCIA EN ADQUISICIONES Y OBRA PUBLICA	%
5. IMAGEN DE RECTITUD DE LA DCO	%
6. UTILIDAD SOBRE VENTAS	%
7. UTILIDAD SOBRE ACTIVOS	%
8. CUMPLIMIENTO GLOBAL DE COMPROMISOS	$\sigma$
9. CENTROS DE TRABAJO CERTIFICADOS EN ISO 14000	%.
10. NUMERO DE NO CONFORMIDADES AMBIENTALES Y CIUDADANAS	No/1000U.
11. ENERGIA COBRADA ENTRE ENERGIA COMPRADA	%
12. APROVECHAMIENTO DE ACTIVOS	%
13. COMPORTAMIENTO DE INGRESOS	%
14. COMPORTAMIENTO DE COSTOS	%
15. COSTOS TOTALES SOBRE INGRESOS TOTALES	%
16. MERMAS DE ENERGIA	%
17. ENERGIA ROBADA Y DEFRAUDADA EN EL PERIODO	%
18. GRADO DE UTILIZACION DE INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	%
19. GRADO DE APROVECHAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	%
20. CUMPLIMIENTO DE LOS COMPROMISOS DE AYC	$\sigma$
21. CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS DE PINS	$\sigma$
22. CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS DE ASCAT	$\sigma$
23. CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS DE ASCMT	$\sigma$
24. CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS DE ASCBT	$\sigma$
25. CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS DE COMERCIALIZACION	$\sigma$
26. CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS DE MSSCM	$\sigma$
27. INGRESOS POR DIVERSIFICACION	%
28. APLICACIÓN DEL PLAN DE CALIDAD AYC	%
29. APLICACIÓN DEL PLAN DE CALIDAD PINS	%
30. APLICACIÓN DEL PLAN DE CALIDAD ASCAT	%
31. APLICACIÓN DEL PLAN DE CALIDAD ASCMT	%
32. APLICACIÓN DEL PLAN DE CALIDAD ASCBT	%
33. APLICACIÓN DEL PLAN DE CALIDAD COMERCIALIZACIÓN	%
34. APLICACIÓN DEL PLAN DE CALIDAD MSSCM	%
35. DISPONIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURA	%
36. PROFESIONALES APTOS PARA PROMOCION	%
37. CENTROS DE TRABAJO CERTIFICADOS EN NMX. SEG. EN EL TRABAJO	%
38. DOTACIÓN OPORTUNA DE PROFESIONALES CERTIFICADOS	%
39. ESCOLARIDAD PARA EL PUESTO TITULAR	%
40. CUMPLIMIENTO GLOBAL DE COMPROMISOS CON LAS PERSONAS	%
41. SATISFACCION DEL PERSONAL	%
42. EFECTIVIDAD EN EL LIDERAZGO	%
43. CALIFICACIÓN DEL SISTEMA APC	PUNTOS

Figura No. 5.14

Fuente: Manual de Métricas Tablero de Mando Integral CFE 2005

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se tiene que dentro de los diferentes métodos existentes para determinar la productividad de una empresa o institución privada destaca el conocido como modelo de frontera DEA (Data Envelopment Analysis: Análisis de la Frontera de Datos).

A pesar de algunas debilidades señaladas en la bibliografía acerca de su utilización (Sengupta, 1995), el análisis de la frontera de datos es una técnica de optimización no paramétrica lo suficientemente estructurada para medir la eficiencia relativa de las empresas, sin necesidad de hacer supuestos a priori sobre el comportamiento de la función de producción. Sin embargo, su utilización y la calidad de sus resultados están supeditados a una adecuada selección de las variables de insumo y de producto.

Este fue el método utilizado para evaluar el desempeño de la distribución eléctrica en la División Centro Occidente durante el período analizado del año 2000-2005, considerando los modelos CCR y BCC; es decir, se contemplaron rendimientos constantes a escala y variables a escala.

Si bien los inputs y outputs seleccionados están enfocados a evaluar la eficiencia total de las empresas eléctricas, por las

características propias de los inputs considerados, de alguna forma se impacta de una manera importante la eficiencia administrativa de la empresa CFE.

De los resultados obtenidos en la División se observa que en cada uno de los años analizados se tienen zonas de distribución consideradas como eficientes, distinguiéndose estas por tener una eficiencia total, así como una eficiencia técnica y de escala igual a 1.

Fue posible analizar y comparar los resultados de las evaluaciones del desempeño que se están obteniendo con el procedimiento actual, concluyéndose que la información que arroja el método DEA ofrece mayor información para la toma de decisiones, a partir de los datos de entradas y salidas.

Ya que no solamente se obtiene una cifra que representa el nivel del desempeño anual de una zona, si no que nos proporciona la información necesaria para que las zonas ineficientes sean eficientes.

Esto es, con los resultados obtenidos le permiten a cada zona de distribución conocer en qué medida deben incrementar la utilización de los recursos considerados, a fin de mejorar su eficiencia relativa.

Para la alta dirección que dicta las políticas a seguir, los resultados del estudio le pueden dar indicaciones acerca de la mejor asignación de los recursos disponibles, a fin de incrementar la eficiencia de las zonas de distribución.

Además de que este método se puede utilizar como benchmarking en el proceso de aprendizaje colaborativo entre zonas de distribución, para concentrarse en prácticas operativas específicas, comparar las medidas utilizadas e identificar los procesos mejorados.

La determinación de los estándares de referencia o “benchmarks” permitirá realizar una comparación directa de las zonas, y cualquier brecha identificada es un área de mejora.

Todo esto nos lleva a concluir la comprobación de la hipótesis planteada:

“Las calificaciones de la evaluación del desempeño de la distribución eléctrica otorgadas actualmente mediante la utilización de la metodología de la Subdirección de Distribución no proveen de la información necesaria para la toma de decisiones de las Divisiones de Distribución”.

El presente trabajo deja establecidas las metodologías necesarias para el desarrollo y la aplicación del modelo DEA para la evaluación de las 118 zonas de distribución que conforman a las 13 Divisiones de Distribución de la Comisión Federal de Electricidad, utilizando las herramientas computacionales para su solución, como las encontradas en la referencia (Scheel, h., 2002)

## BIBLIOGRAFIA

[1] T. Coelli, D. S. Prassada and G. E. Battese, “*An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*,” Kluwer Academic Publisher, United States of America, 1998.

[2] Terry Wireman, “Benchmarking Best Practices in Maintenance Management,”.

[3] I. Herrero and S. Pascoe, “Estimation of technical efficiency: a review de some of the stochastic frontier and DEA software,” *Computers in Higher Education Economics Review*, vol. 15, issue 1, 2002.

[4] A. Charnes, W. W. Cooper and E. Rhodes, “Measuring the efficiency of decision making units,” *European Journal of Operational Research*, vol. 2, no. 6, pp. 429-444, 1978.

\_\_\_\_\_, D. Divine, T. W. Ruefli y D. Thomas, “Comparisons of DEA and Existing Ratio and Regresión Systems for Effecting Efficiency Evaluatios of Regulated Electric Cooperatives in Texas”, *Research in Governrmental and Nonprofit Accounting*. Vol. 5, pp. 187-210 1989.

[5] R. D. Banker, A. Charnes and W. W. Cooper, "Some models for estimating technical and scale efficiencies in data envelopment analysis," *Management Science*, vol. 30, no. 9, pp. 1078-1079, 1984.

[6] M. J. Farrell, "The Measurement of Productive Efficiency," *J. Roy. Statist. Soc. Ser. A*, 120, pp. 253-290, 1957.

\_\_\_\_\_, y M. Fieldhouse, "Estimating Efficient Production Function under Increasing Return to Scale", *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol 125, Part II, pp 252-267, 1962.

[7] W. W. Cooper, L. Seiford and K. Tone, "*Data Envelopment Analysis*," Kluwer Academic Publisher, 2002.

[8] Bjurek H., y Hjalmarsson, "Deterministic Parametric and Nonparametric Estimation of Efficiency in Service Production", *Journal of Econometrics*, 46, 1998.

[9] Chien, Ch., F. Lo y J. T. Lin, "Using DEA to Measure the Relative Efficiency of the Service Center and Improve Operation Efficiency through Reorganization", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 18, No. 1, February, pp. 366-373, 2003.

[10] Forsund, F. R., C. A. Lovell y P. Schmidt, "A survey of Frontier Production Functions and their Relationship to efficiency Measurement", 1980.

[11] Greene, W., "On the Estimation of Econometric Frontier Functions", Journal of Econometrics, 13. 1980.

\_\_\_\_\_, "Maximum Likelihood Estimation of Econometric Frontier Functions", Journal of Econometrics, Vol 13, 1980.

[12] Grosskopf, S., "The Role of the Reference Technology in Measuring Productive Efficiency", The Economic Journal, Vol. 96, June. 1986.

[13] F. R. Forsund and L. Hjalmarsson, "Are all scale optimal in DEA? Theory and Empirical Evidence," Norwegian Research Council, University of Oslo, 2002.

[14] Lo, F., Ch. Chien y J: T. Lin, "A DEA Study to Evaluate the Relative Efficiency and Investigate the District Reorganization of the Taiwan Power Company", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, No. 1, February, pp. 170-178. 2001.

[15] Hernández Laos, E., "Funciones de Producción y Eficiencia Técnica: Una apreciación Crítica", Revista de Estadística y Geografía, Vol. 2, No. 5, Secretaria de Programación y Presupuesto, México, pp. 9-34. 1981.

[16] Fuentes Castro, H. J. "La Evaluación de la Actividad Docente: Un Análisis a partir de la Técnica DEA", Economía Mexicana Nueva Época, Vol. XII, No. 1, CIDE, México, pp. 137-163, 2003.

[17] Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Distribución, Manual para el Control de Gestión de los Procesos Operativos del Sector Eléctrico, Procedimiento Determinación y Evaluación de Objetivos “DEVO”, Febrero 2002.

[18] Jorge Andrés Donoso Sepúlveda, “Metodología Regulatoria Price Cap Aplicada a la Distribución Eléctrica”, Universidad Católica de Chile,. 1999.

[19] Yezid Orlando Pérez Alemán, David Ricardo Araque Quijano, John Freddy Lancheros, “La eficiencia Relativa en los Colegios Districtales de Bogotá: una Aplicación del Análisis Envolvente de Datos”, Diciembre. 2003.

[20] Afriat, S., “Efficiency Estimation of Production Functions”, International Economic Review, Vol. 13, No. 3, pp. 568-598. 1972.

[21] Aigner, D. J., Lovell, C. A. K., y Schmidt, P., “Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models”, Vol. 6, No. 1, pp. 21-37 1977.

[22] Anderson, T., “Introduction to DEA: A Data Envelopment Analysis (DEA) home page, disponible en: <http://www.emp.pdx.edu/dea/homedea.html>, agosto., 2002.

[23] Bowling, W., "Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA)", Journal of Cost Analysis, pp. 3-27, 1998.

[24] Cooper, W. W., Seiford. L. M. y Tone, K., "Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and Dea-Solver Software", Dordrecht, Kluwer Academic. 2000.

[25] Golany, B. y Roll, Y., "An Application Procedure for DEA", Omega, Vol. 17, No. 3 pp. 237-249. 1989.

[26] Mankiw, G. N., "Principios de Economía", Madrid, Mc Graww Hill Interamericana. 1998.

[27] Pérez, Y. y García, R., "Diseño, desarrollo e implementación de un modelo DEA con soporte estadístico de técnicas multivariadas aplicado al mercado mayorista de energía eléctrica colombiana", informe de investigación, Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana. 2002.

[28] Resti, A., "Efficiency Measurement for Multiproduct Industries: A Comparison of classic and recent Techniques based on simulated Data", European Journal of Operational Research, No. 121, pp. 559-578., 2000.

[29] Scheel, H., "EMS: Efficiency Measurement Syswtem User's Manual", 2002.

[30] Sengupta, J. K., "Dynamics of Data Envelopment Analysis: Theory of Systems Efficiency", Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 1995.

[31] José César Lenin Navarro Chávez y Zacarías Torres Hernández, "La Evaluación de la Eficiencia en el sector eléctrico: un análisis de la frontera de datos (DEA)"., Ciencia Nicolaita No. 35, Agosto, 2003.

[32] Mercado Ramirez, E., E. A. Díaz y M. D. Flores, "Productividad Base de la Competitividad", Editorial Limusa, México. 1997.

[33] P. K. Kalra, "Comparación del Comportamiento en las Compañías de Distribución de Energía Eléctrica en la India.", Conference on Planning and Operation of reliable Distribution Systems, No. 1 Nueva Delhi India, pp. 35-42, 2004.

[34] Veronica Irastorza, "Benchmarking for Distribution Utilities: A problematic Approach to Defining Efficiency", The Electricity Journal, 2003.

[35] Anil Pahwa, Xiaoming Feng y David Lubkeman, "Performance Evaluation of Electric Distribution utilities Based on Data Envelopment Analysis", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, No. 3, August, pp. 400-405.

[36] Feng-Yu Lo, Chen-Fu Chien, y James T. Lin, “A DEA Study to Evaluate the Relative Efficiency and Investigate the District Reorganization of the Taiwan Power Company”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, No. 1, February, pp. 170-178, 2003.

[37] Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Distribución, Procedimiento para la Evaluación de Zonas y Divisiones de Distribución., 2002.

[38] Comisión Federal de Electricidad, División Centro Occidente, Manual de Métricas Tablero de Mando Integral., 2005.

[39] Paulo Andrés Atienza Yáñez “Aplicación del Modelo de Bolsa de Energía en Chile”, Universidad Católica de Chile,. 2001.