



Universidad Michoacana de  
San Nicolás de Hidalgo



Instituto de Investigaciones  
Económicas y Empresariales

DOCTORADO EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES

La Industria Petrolera de México en el Contexto Internacional, 2010-2017:

Un Estudio de Eficiencia a través del *DEA Network*

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES**

Presenta:

**M. C. Enrique Guardado Ibarra**

Director de Tesis:

**Dr. José César Lenin Navarro Chávez**

Morelia, Michoacán, mayo de 2021



## UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

---

### INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES COORDINACIÓN DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES

Dra. Odette Virginia Delfín Ortega  
Presidenta del H. Consejo Técnico  
Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales  
**P R E S E N T E. –**

Por medio de la presente nos permitimos hacer de su conocimiento que, una vez revisada la Tesis Doctoral titulada: **“La Industria Petrolera de México en el Contexto Internacional, 2010-2017: Un Estudio de Eficiencia a través del DEA Network”**, del **M. C. Enrique Guardado Ibarra**, alumno del Doctorado en Ciencias en Negocios Internacionales, que se ofrece en este Instituto, hemos encontrado que satisface plenamente los requerimientos hechos por el Jurado Sinodal, por lo que otorgamos nuestra autorización para que se lleve a cabo la impresión de la versión definitiva de la citada tesis y se continúe con el proceso de graduación correspondiente.

Sin otro asunto que tratar por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo y quedamos a sus órdenes para cualquier aclaración al respecto.

**A T E N T A M E N T E. –**  
Morelia, Mich., 19 de mayo de 2021

Dr. José César Lenin Navarro Chávez  
Presidente

Dra. Odette Virginia Delfín Ortega  
Secretario

Dra. Irma Cristina Espitia Moreno  
Primer vocal

Dr. Plinio Hernández Barriga  
Segundo Vocal

Dr. Antonio Favila Tello  
Tercer Vocal

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**  
**DOCTORADO EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES**

CARTA DE ORIGINALIDAD

A QUIEN CORRESPONDA. –

Por este medio se hace constar que el trabajo de tesis titulado: **“La Industria Petrolera de México en el Contexto Internacional, 2010-2017: Un Estudio de Eficiencia a través del DEA Network”**, realizado por el alumno **M. C. Enrique Guardado Ibarra** con matrícula 1181196D del **Doctorado en Ciencias en Negocios Internacionales**, dirigido por el **Dr. José César Lenin Navarro Chávez**, fue analizado a través de la herramienta de detección de plagio **Turnitin**.

Con base en el reporte de las similitudes encontradas por dicha herramienta informática, **se considera que el trabajo de tesis no constituye un plagio** con respecto a obras de terceros.

Los resultados del análisis se encuentran bajo resguardo de la coordinación del **Doctorado en Ciencias en Negocios Internacionales** y de la Secretaría Académica del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

ATENTAMENTE. –

Morelia, Mich., a 19 de mayo de 2021.

**Dr. José César Lenin Navarro Chávez**  
Director de Tesis

**M. C. Enrique Guardado Ibarra**  
Alumno

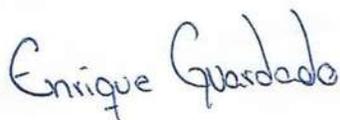
**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES**  
**ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**

**CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

En la ciudad de Morelia, Michoacán, el día 19 de mayo de 2021, el (la) que suscribe **M. C. Enrique Guardado Ibarra**, alumno (alumna) del **Programa de Doctorado en Ciencias en Negocios Internacionales** adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, manifiesta que es autor (autora) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección del (de la) **Dr. José César Lenin Navarro Chávez** y cede los derechos del trabajo titulado: **“La Industria Petrolera de México en el Contexto Internacional, 2010-2017: Un Estudio de Eficiencia a través del DEA Network”** a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin permiso expreso del autor (de la autora) y/o director (directora) del mismo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: **enrique.guardado@outlook.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

A T E N T A M E N T E. –



**M. C. Enrique Guardado Ibarra**

## *DEDICATORIA*

*A Lilibeth y Enrique Thiago, que han sido  
mis pilares y han creído en mí siempre.*

*A mis padres, que sé que siempre puedo  
contar con ellos en cualquier momento.*

*A mis profesores, familiares y amigos  
que me motivan a seguir a delante.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Dr. José César Lenin Navarro Chávez y a la Dra. Odette Virginia Delfín Ortega, por todo el apoyo, conocimiento, guía y tiempo que recibí de su parte para la realización del presente trabajo de investigación, los considero grandes personas, profesores y amigos.

Le doy gracias a la Dra. Irma Cristina Espitia Moreno, Dr. Plinio Hernández Barriga y Dr. Antonio Favila Tello por sus valiosos aportes que ayudaron a contribuir a la realización del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Mario Gómez Aguirre por su apoyo durante estos años como coordinador del Doctorado en Ciencias en Negocios Internacionales.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico recibido durante la formación del presente Doctorado en Ciencias.

Gracias también al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE) y a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) por el apoyo en la realización del Doctorado en Ciencias.

## ÍNDICE

RELACIÓN DE GRÁFICAS, FIGURAS, TABLAS Y CUADROS .....	I
REFERENCIA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	V
GLOSARIO.....	VIII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	XV
PARTE I. LA INDUSTRIA PETROLERA.....	1
CAPÍTULO 1. NACIMIENTO Y DESARROLLO DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL .....	2
1.1 Contexto de la industria petrolera a nivel mundial .....	2
1.2 Rusia y su industria petrolera .....	9
1.3 China y su industria petrolera.....	14
1.4 Angola y su industria petrolera .....	18
1.5 Inglaterra y su industria petrolera.....	20
1.6 Estados Unidos y su industria petrolera .....	20
1.7 Holanda y su industria petrolera.....	23
1.8 Francia y su industria petrolera .....	25
1.9 España y su industria petrolera.....	26
1.10 Brasil y su industria petrolera.....	27
1.11 Canadá y su industria petrolera .....	28
1.12 Kuwait y su industria petrolera .....	29
1.13 Venezuela y su industria petrolera .....	30
1.14 Kazajistán y su industria petrolera .....	31
1.15 Emiratos Árabes Unidos y su industria petrolera.....	32
1.15 Argelia y su industria petrolera .....	33
CAPÍTULO 2. ORIGEN, DESARROLLO Y ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN MÉXICO .....	35
2.1.-La industria del petróleo en México. Evolución histórica.....	35
2.2.-Estructura de México en el contexto petrolero moderno.....	42

PARTE II. DESARROLLOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS DEL <i>DATA ENVELOPMENT ANALYSIS</i> .....	57
CAPÍTULO 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS DEL <i>DATA ENVELOPMENT ANALYSIS</i> .....	58
3.1.- Conceptualización de eficiencia.....	58
3.2.- Métodos de frontera y no frontera.....	59
3.2.1.- Métodos no paramétricos.....	59
3.2.2.- Métodos paramétricos.....	61
3.2.1- Definición de eficiencia productiva.....	62
3.2.2- Concepto de eficiencia técnica.....	63
3.2.3- Concepto de eficiencia asignativa.....	64
3.3.- Estructura y antecedentes del modelo DEA.....	66
3.3.1- Generalidades del método DEA.....	70
3.3.1- Formulación matemática del modelo básico CCR (Charnes, Cooper y Rhodes).....	73
3.3.2-Formulación matemática del modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper).....	80
3.3.3- Tipos de orientación del Modelo DEA.....	82
3.3.4.- Análisis <i>benchmarking</i> .....	84
3.3.5.- Análisis <i>slacks</i> .....	85
3.3.6.- Ventajas y desventajas del uso del modelo DEA.....	85
CAPÍTULO 4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS DEL <i>NETWORK DATA ENVELOPMENT ANALYSIS</i> .....	88
4.1.- Conceptualización del modelo <i>DEA Network</i> .....	88
4.2.- Modelo matemático del <i>DEA Network</i> .....	89
PARTE III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	96
CAPÍTULO 5. EL ANÁLISIS DE LA ENVOLVENTE DE DATOS Y EL <i>NETWORK</i> : ESTUDIOS DE CASO.....	97
5.1.- Acercamientos del análisis DEA en la industria petrolera.....	97
5.2.- Acercamientos del análisis <i>DEA Network</i> en la industria petrolera.....	101
CAPÍTULO 6. <i>NETWORK DATA ENVELOPMENT ANALYSIS</i> : UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN MÉXICO.....	104
6.1.- Selección y establecimiento de los DMU's, nodos e indicadores.....	104
6.2.- Aplicación de análisis factorial para la validación de los <i>inputs</i> y <i>outputs</i> .....	107

6.3.- Estructura y operacionalización del modelo <i>DEA Network</i> en la industria petrolera.....	111
6.4.- Aplicación del modelo matemático <i>DEA Network</i> para la industria petrolera. ....	115
PARTE IV. RESULTADOS .....	117
CAPÍTULO 7. LA EFICIENCIA A TRAVÉS DEL <i>NETWORK DATA ENVELOPMENT ANALYSIS</i> DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN MÉXICO .....	118
7.1.- Eficiencia global <i>DEA Network</i> de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial .....	118
7.2.- Eficiencia del nodo exploración y producción de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial .....	120
7.3.- Eficiencia del nodo transformación industrial de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial .....	123
7.4.- Eficiencia del nodo comercialización de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial.....	125
7.5.- Análisis de <i>benchmarking</i> del nodo exploración y producción.....	127
7.6.- Análisis de <i>benchmarking</i> del nodo transformación industrial .....	129
7.7.- Análisis de <i>benchmarking</i> del nodo comercialización .....	131
7.8.- Análisis de <i>slacks</i> del nodo exploración y producción.....	133
7.9.- Análisis de <i>slacks</i> del nodo transformación industrial .....	135
7.10.- Análisis de <i>slacks</i> del nodo comercialización .....	137
CONCLUSIONES .....	140
RECOMENDACIONES .....	146
BIBLIOGRAFÍA.....	148
ANEXOS.....	155

## RELACIÓN DE GRÁFICAS, FIGURAS, TABLAS Y CUADROS

### GRÁFICAS

Gráfica 1. Rentas petroleras mundiales.....	3
Gráfica 2. Reservas petroleras rusas.....	12
Gráfica 3. Mano de obra industria petrolera rusa.....	13
Gráfica 4. Barriles de petróleo producidos rusos.....	14
Gráfica 5. Reservas petroleras chinas.....	16
Gráfica 6. Mano de obra industria petrolera china.....	17
Gráfica 7. Barriles de petróleo producidos chinos.....	18
Gráfica 8. Ingresos presupuestarios petroleros y no petroleros.....	50
Gráfica 9. Producción de petróleo crudo en México.....	51
Gráfica 10. Precio promedio del barril mexicano en Dls.....	52
Gráfica 11. Elaboración de productos petrolíferos.....	54
Gráfica 12. Exportaciones e importaciones de petróleo y sus derivados en México.....	55
Gráfica 13. Renta petrolera en México.....	55

### FIGURAS

Figura 1. Organismos subsidiarios de PEMEX creados en 1992-1994.....	44
Figura 2. Empresas productivas subsidiarias de PEMEX a partir de la reforma energética...	47
Figura 3. Cadena de valor de PEMEX.....	48

Figura 4. Eficiencia técnica en el modelo de Farrell.....	67
Figura 5. Eficiencia en el modelo de Farrell.....	68
Figura 6. Frontera de producción del modelo BCC.....	81
Figura 7. Orientación en <i>DEA</i> .....	83
Figura 8. Ejemplo simple del modelo <i>DEA Network</i> .....	90
Figura 9. Estructura del modelo <i>DEA Network</i> para la industria petrolera China.....	102
Figura 10. Estructura del modelo <i>DEA Network</i> para la industria petrolera.....	111
Figura 11. Conjunto de datos para el modelo <i>DEA Network</i> de la industria petrolera.....	113

## **TABLAS**

Tabla 1. Empresas petroleras más importantes a nivel mundial.....	5
Tabla 2. Países con mayor producción de petróleo.....	6
Tabla 3. Países con mayores reservas probadas de petróleo.....	8
Tabla 4. Análisis del modelo no paramétrico.....	60
Tabla 5. Análisis del modelo paramétrico.....	61
Tabla 6. Revisión literaria de la industria petrolera mediante el uso del análisis <i>DEA</i> .....	98
Tabla 7. KMO y prueba de Bartlett.....	108
Tabla 8. Análisis de componentes principales.....	109
Tabla 9. Varianza total explicada.....	110
Tabla 10. Modelo matemático <i>DEA Network</i> para el análisis de la eficiencia de la industria petrolera.....	115

Tabla 11. Eficiencia global de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial .....	119
Tabla 12. Eficiencia del nodo Exploración y Producción de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial.....	121
Tabla 13. Eficiencia del nodo Transformación industrial de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial.....	124
Tabla 14. Eficiencia del nodo Comercialización de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial.....	126
Tabla 15. Análisis benchmarking nodo 1: Exploración y producción de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial.....	128
Tabla 16. Análisis benchmarking nodo 2: Transformación industrial de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial.....	130
Tabla 17. Análisis benchmarking nodo 3: Comercialización de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial.....	132
Tabla 18. Análisis de slacks nodo 1: Exploración y producción de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2010.....	133
Tabla 19. Análisis de slacks nodo 1: Exploración y producción de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2017.....	135
Tabla 20. Análisis de slacks nodo 2: Transformación industrial de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2010.....	136
Tabla 21. Análisis de slacks nodo 2: Transformación industrial de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2017.....	137
Tabla 22. Análisis de slacks nodo 3: Comercialización de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2010.....	138
Tabla 23. Análisis de slacks nodo 3: Comercialización de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2017.....	139

## **CUADROS**

Cuadro 1. Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2017...	156
Cuadro 2. Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2016...	159
Cuadro 3. Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2015...	162
Cuadro 4. Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2014...	166
Cuadro 5. Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2013...	170
Cuadro 6. Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2012...	174
Cuadro 7. Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2011...	178
Cuadro 8. Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2010...	182

## REFERENCIA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACP. Asociación Colombiana de Petróleo

BCC. Banker, Charnes y Cooper

BM. Banco Mundial

BP. British Petroleum

CCR. Charnes, Cooper y Rhodes

CIA. Central Intelligence Agency

CNPC. China National Petroleum Corporation

COLMEX. Colegio de México

CRS. Constant Returns to Scale

DEA. Data Envelopment Analysis

DMU. Decision Making Unit

EIA. Energy Information Administration

ENOC. Emirates National Oil Company

EPS. Empresas Productivas Subsidiarias

FMI. Fondo Monetario Internacional

IEA. International Energy Agency

IMP. Instituto Mexicano del Petróleo

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

ININEE. Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales

IOC. International Oil Company

KMO. Kaiser-Meyer-Olkin

KNPC. Kuwait National Petroleum Company

LNG. Líquidos de Gas Natural

NDEA. Network Data Envelopment Analysis

NOC. National Oil Company

OCDE. Organización para la cooperación y Desarrollo Económico

OEC. Observatory of Economic Complexity

OPEC. Organization of the Petroleum Exporting Countries

PEMEX. Petróleos Mexicanos.

PEP. PEMEX Exploración y Producción

PETROBRAS. Petróleos Brasileños

PETROMEX. Petróleos de México

PDVSA. Petroleros de Venezuela SA.

PGPB. PEMEX Gas y Petroquímica Básica

PIB. Producto Interno Bruto

PMI. Petróleos Mexicanos Internacional

PPQ. PEMEX Petroquímica

PXR. PEMEX Refinación

QCA. Qualitative Comparative Analysis

SHCP. Secretaría de Hacienda y Crédito Público

SONANGOL. Sociedad Nacional de Combustibles de Angola

STPRM. Sindicato de Trabajadores Petroleros de la República Mexicana

UNESCO. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization

VRS. Variable Returns to Scale

## GLOSARIO

**Aguas profundas:** Zonas costa fuera donde la profundidad del agua es mayor o igual a 500 metros, pero menor a 1,500 metros.

**Análisis Factorial:** Técnica estadística multivariante de reducción de datos, que permite expresar la información contenida en un conjunto de datos con un número menor de variables sin distorsionar dicha información.

**Barriles diarios:** En producción, es el número de barriles de hidrocarburos producidos en un periodo de 24 horas. Normalmente es una cifra promedio de un periodo de tiempo más grande. Se calcula dividiendo el número de barriles durante el año entre 365 o 366 días, según sea el caso.

**Barril de petróleo crudo:** Unidad de volumen para petróleo e hidrocarburos derivados; equivale a 42 gal. (US) o 158.987304 litros. Un metro cúbico equivale a 6.28981041 barriles.

**Benchmarking:** Es una herramienta que toma como ejemplo los mejores aspectos o prácticas de otras firmas, ya sean competidoras directas o pertenecientes a otro sector (y en algunos casos, de otras áreas de la propia empresa), y adaptarlos a la misma empresa generando mejoras en esta.

**Combustibles fósiles:** Son aquellos combustibles que provienen de un proceso de descomposición parcial de la materia orgánica. Se originan por un proceso de transformación de millones de años de plantas y vegetales. Se agrupan bajo esta denominación el carbón, el petróleo y el gas natural.

**Complejo:** Término utilizado en la industria petrolera para referirse a la serie de campos o plantas que comparten instalaciones superficiales comunes.

**Data Envelopment Analysis (DEA):** En español Análisis de la Envoltente de Datos, es una técnica no paramétrica para la medición de la eficiencia relativa de unidades organizacionales en situaciones donde existen múltiples entradas y/o salidas.

**Downstream:** En la industria petrolera, hace referencia a las tareas de refinamiento del petróleo crudo y al procesamiento y purificación del gas natural, así como también la comercialización y distribución de productos derivados del petróleo crudo y gas natural.

**Eficiencia asignativa:** medida teórica del beneficio o utilidad derivada de una decisión propuesta o vigente en la distribución o reparto de recursos económicos.

**Eficiencia económica:** Implica la eficiencia tecnológica (o técnica), así como utilizar los factores de producción en proporciones que minimicen costos.

**Eficiencia del consumidor:** Ocurre cuando los consumidores no logran mejorar asignando de nuevo sus presupuestos.

**Energía:** Es la capacidad de los cuerpos o conjunto de estos para efectuar un trabajo. Todo cuerpo material que pasa de un estado a otro produce fenómenos físicos que no son otra cosa que manifestaciones de alguna transformación de la energía.

**Endulzadoras:** Planta industrial cuyo objetivo es proporcionar un tratamiento que se aplica a las mezclas gaseosas y a las fracciones ligeras del petróleo para eliminar los compuestos de azufre indeseables o corrosivos, y para mejorar su color, olor y estabilidad.

**Estimación:** Es el proceso de encontrar una estimación, o aproximación, que es un valor que puede utilizarse para algún propósito, incluso si los datos de entrada pueden ser incompletos, inciertos o inestables.

**Exploración petrolera:** Conjunto de actividades de campo y de oficina cuyo objetivo principal es descubrir nuevos depósitos de hidrocarburos o extensiones de los existentes.

**Gas natural:** Es un hidrocarburo mezcla de gases ligeros de origen natural. Principalmente contiene metano, y normalmente incluye cantidades variables de otros alcanos, y a veces un pequeño porcentaje de dióxido de carbono, nitrógeno, ácido sulfhídrico o helio.

**Hidrocarburo:** Grupo de compuestos orgánicos que contienen principalmente carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos.

**Igualdad del costo marginal:** (costo de producir una unidad adicional de producto, incluyendo los costos externos) y de beneficio social marginal (valor del beneficio de una unidad adicional de consumo, incluyendo beneficios externos).

**Input:** Es todo aquel factor (materias primas, productos intermedios o semi-manufacturados) que interviene en la producción de un bien o servicio (*output*).

**Input orientado:** buscan, dado el nivel de *outputs*, la máxima reducción proporcional en el vector de *inputs* mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción.

**Isocuanta:** representa diferentes combinaciones de factores que proporcionan una misma cantidad de producto.

**Método paramétrico:** Un modelo paramétrico es una familia de distribuciones de probabilidad que tiene un número finito de parámetros.

**Método no paramétrico:** Método no requiere la especificación de una forma funcional para la frontera ni de algún grado de perturbación.

**Monopolio:** Es una estructura de mercado, incluida dentro de las formas de competencia imperfecta, en el cual un único productor controla la oferta de un bien.

**Network Data Envelopment Analysis (NDEA):** Amplía y complementa el análisis DEA convencional al considerar no solo las entradas y salidas al medir la eficiencia del sistema, sino también la estructura interna del sistema que se analiza.

**Nodo:** Es un punto de intersección, conexión o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar.

**Output:** Es el bien o servicio que ha sido obtenido tras un proceso productivo en el que han intervenido una serie de factores o *inputs* (materias primas, productos intermedios o semi-manufacturados).

**Output orientado:** buscan, dado el nivel de *inputs*, el máximo incremento proporcional de los *outputs* permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción.

**Petróleo:** un aceite mineral que consiste en una mezcla de hidrocarburos de origen natural, de color amarillo a negro, y de densidad y viscosidad variables.

**Petrolíferos:** Productos que se obtienen de la refinación del Petróleo o del procesamiento del gas natural y que derivan directamente de Hidrocarburos, tales como gasolinas, diésel, querosenos, combustóleo y Gas Licuado de Petróleo, entre otros, distintos de los Petroquímicos.

**Petroquímica:** Rama de la química que estudia la transformación del petróleo crudo y el gas natural en productos o materias primas útiles.

**Pozo petrolero:** Hace referencia a cualquier perforación del suelo diseñada con el objetivo de hallar y extraer fluido combustible, ya sea petróleo o hidrocarburos gaseosos.

**Programación lineal:** Es el campo de la optimización matemática dedicado a maximizar o minimizar una función lineal, de nominada función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones o inecuaciones también lineales.

**Refinación:** Es el proceso de purificación de una sustancia química obtenida muchas veces a partir de un recurso natural.

**Refinería:** es una plataforma industrial destinada a la refinación del petróleo, que, mediante un proceso adecuado, se obtienen diversos derivados del mismo.

**Rendimientos constantes a escala:** Significa que, si se incrementa la cantidad de cada uno de los factores, la producción aumenta en la misma proporción.

**Rendimientos crecientes a escala:** Implica que, si se incrementa la cantidad de cada uno de los factores, la producción aumenta en una proporción mayor.

**Rendimientos decrecientes a escala:** Se presentan cuando al incrementarse la cantidad de cada uno de los factores, la producción aumenta en una menor proporción.

**Reservas petroleras:** Indican la cantidad de petróleo crudo que puede extraerse del subsuelo técnicamente a un costo que es financieramente factible al precio actual del petróleo.

**Reservas no probadas:** Volúmenes de hidrocarburos y sustancias asociadas, evaluadas a condiciones atmosféricas que resultan de la extrapolación de las características y parámetros del yacimiento más allá de los límites de razonable certidumbre, o de suponer pronósticos de aceite y gas con escenarios tanto técnicos como económicos que no son los que están en operación o con proyecto.

**SPSS Statistics:** Programa estadístico informático muy usado en las ciencias exactas, sociales y aplicadas, además de las empresas de investigación de mercados.

**Subproceso:** Es un conjunto de actividades que tienen una secuencia lógica para cumplir un propósito.

**Upstream:** Dentro de la industria petrolera, incluye las tareas de búsqueda de potenciales yacimientos de petróleo crudo y de gas natural, tanto subterráneos como submarinos, la perforación de pozos exploratorios, y posteriormente la perforación y explotación de los pozos que llevan el petróleo crudo o el gas natural hasta la superficie.

**Yacimiento:** Unidad del subsuelo constituida por roca permeable que contiene petróleo, gas y agua, las cuales conforman un solo sistema.

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es el de determinar el nivel de eficiencia técnica de los principales países petroleros durante el periodo 2010-2017 incluyendo a México. Para determinar la eficiencia técnica, se propone el uso del modelo *DEA Network*, en el cual, se calcula la eficiencia técnica para cada uno de los nodos propuestos. Para el desarrollo del modelo, se identificaron tres nodos principales: exploración y producción, transformación industrial, y comercialización, cada uno de los nodos contiene sus respectivos *inputs* y *outputs*, de igual manera existe una conexión entre nodos a través del uso de *outputs/inputs* intermedios. Se aplica el análisis factorial a través de la técnica de componentes principales para determinar que variables se utilizan en el modelo. Finalmente, se estructura el modelo *DEA Network* para la industria petrolera internacional y se calcula la eficiencia a nivel global y por cada nodo. El análisis de los resultados de la aplicación del modelo *DEA Network* plantea que el nodo más eficiente es el de exploración y producción, mientras que los países petroleros eficientes son Estados Unidos, Francia, Emiratos Árabes Unidos y Angola. Para el caso de la industria petrolera mexicana el nodo exploración y producción fue donde obtuvo mejores resultados, sin llegar a ser eficiente.

Palabras clave: eficiencia, *DEA Network*, industria petrolera, *upstream*, *downstream*.

## **ABSTRACT**

This research aims to determine the level of technical efficiency of the main oil countries worldwide during the period 2010-2017, including Mexico. To determine the technical efficiency, the use of the DEA Network model is proposed, in which the technical efficiency is calculated for each of the proposed nodes. For the application of the model, three main nodes were identified: exploration and production, industrial transformation and commercialization, each of the nodes contains its respective inputs and outputs, in the same way there is a connection between nodes through the use of intermediate outputs / inputs. Factor analysis is applied through the principal components technique to determine which variables are used in the model. Finally, the DEA Network model for the international oil industry is structured and efficiency is calculated globally and for each node. The analysis of the results of having applied the DEA Network model, suggests that the most efficient node is the exploration and production node, while the efficient oil countries are the United States, France, the United Arab Emirates and Angola. In the case of the Mexican oil industry, the exploration and production node was where it obtained the best results, without being efficient.

Keywords: efficiency, DEA Network, oil industry, upstream, downstream.

## INTRODUCCIÓN

La industria del petróleo es considerada dentro de las más importantes a nivel mundial, esto debido a que a través de los años el petrolero ha sido la principal fuente de energía en distintos rubros, sin él no podrían ser operadas las fábricas a nivel mundial o simplemente no se podría hacer uso de un vehículo para poder transportarse debido a las gasolinas. De acuerdo con Exxon Mobil (2021), el petróleo y el gas natural representan alrededor del 55 por ciento del uso global de energía en la actualidad. En el sector primario son fundamental para el funcionamiento de maquinaria como son los sistemas de riego, funcionamiento de los tractores y para la creación de fertilizantes agrícolas. A partir de los derivados del petróleo se obtienen una variedad inmensa de productos que van desde el producir plástico para todo tipo de productos, algunos cosméticos, detergentes, la ropa de nylon entre otras muchas cosas (ACP, 2017).

Para México, el petróleo ha jugado un papel determinante en el desarrollo de su economía a través de los años, sus finanzas públicas, el desarrollo y crecimiento de la industria, desarrollo tecnológico, balanza comercial, relación con el exterior etc. De acuerdo con Gil (2008), el petróleo se ha convertido en un elemento determinante para la consolidación de México como un estado-nación, así como de igual forma, como un país con una economía emergente y un nivel de desarrollo medio, esto a partir desde las primeras décadas del siglo XX.

El sector petrolero, en la actualidad, atraviesa por tiempos de crisis en la mayoría de los países productores de hidrocarburos, esto se debe a los nulos cambios en los proyectos de extracción y a la oferta con competencia desleal en su comercialización, lo cual desafía a la industria petrolera mundial de manera directa, y la consecuencia de esto, se ve reflejada en la caída de los precios del petróleo (Salgado, 2017).

Aunado a la crisis petrolera a nivel mundial causada por la covid-19, de acuerdo con PEMEX (2021), la industria petrolera mexicana ha tenido que ajustarse a las nuevas condiciones globales de demanda y oferta, así, como a los ajustes presupuestales para poder seguir siendo una empresa productiva.

Es por lo anterior que, la industria petrolera mexicana pasa por un tema delicado de eficiencia en toda su estructura productiva. A nivel internacional, dicha industria ha estado en constantes cambios siendo de relevancia su estudio para los países productores de petróleo.

Por lo tanto, la pregunta general de investigación que se plantea una vez revisado la problemática, así como también la literatura de la industria es la siguiente: ¿Cuál de los tres nodos; exploración y producción, transformación industrial y comercialización fue el principal determinante de la eficiencia global de la industria petrolera de los principales países petroleros en el periodo 2010-2017? Cómo preguntas específicas se plantean: ¿Cuál fue el desempeño en términos de eficiencia del nodo exploración y producción de la industria petrolera mexicana en el periodo 2010-2017? ¿Cuál fue el desempeño en términos de eficiencia del nodo transformación industrial de la industria petrolera mexicana en el periodo 2010-2017? Y ¿Cuál fue el desempeño en términos de eficiencia del nodo comercialización de la industria petrolera mexicana en el periodo 2010-2017?

El objetivo general de la investigación que se plantea es el de identificar cuál de los tres nodos; exploración y producción, transformación industrial y comercialización fue el principal determinante de la eficiencia global de la industria petrolera de los principales países petroleros en el periodo 2010-2017. Como objetivos específicos se tienen: establecer cuál fue el desempeño en términos de eficiencia del nodo exploración y producción de la industria petrolera mexicana en el periodo 2010-2017, analizar cuál fue el desempeño en términos de eficiencia del nodo transformación industrial de la industria petrolera mexicana en el periodo 2010-2017 y estudiar cuál fue el desempeño en términos de eficiencia del nodo comercialización de la industria petrolera mexicana en el periodo 2010-2017.

Cómo hipótesis general de la investigación, se considera que de los nodos exploración y producción, transformación industrial y comercialización, es el nodo de exploración y producción el que genera la eficiencia global de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel internacional en el periodo 2010-2017. Dentro de las hipótesis específicas, se considera en la primera que, el nodo de exploración y producción ha sido el más eficiente de los tres nodos dentro de la industria petrolera mexicana y ha sido en quien recae el mayor peso de la responsabilidad de dicha industria. la segunda hipótesis específica considera que el nodo transformación industrial, a pesar de ser el más importante en términos de generación

de valor agregado, no ha sido aprovechado de manera correcta para que este logre ser eficiente, sino todo lo contrario cada vez se vuelve más ineficiente. Como tercera hipótesis específica se considera que la eficiencia del nodo comercialización ha sido en términos relativos eficiente para México en el periodo señalado.

Dentro de la estructura de variables, se tiene como única variable dependiente a la eficiencia de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel internacional en el periodo 2010-2017. Como variables independientes o nodos (nombrados así por la metodología *DEA Network* utilizada en la presente investigación) se identifican tres: el nodo exploración y producción, el nodo de transformación industrial y el nodo de comercialización, los tres dentro del contexto de la industria petrolera internacional y con sus respectivos indicadores.

La parte teórica metodológica se centra en los estudios de la eficiencia mediante el análisis de la envolvente de datos a través de una de sus variantes más importantes denominada *DEA Network*. La principal característica del *DEA Network* es la de examinar la estructura tecnológica oculta dentro de “la caja negra” del modelo estándar de DEA en el cual se supone un determinado número de  $k$  nodos o actividades dentro de esta caja negra, cada nodo va a contar con *inputs*, encargados de producir tanto *outputs* fijos como *outputs* intermedios, estos últimos servirán como conexión para el siguiente nodo convirtiéndose en *inputs* del siguiente nodo. Todo el modelo *DEA Network* incluye productos intermedios e *inputs* asignados. Un producto es intermedio en el sistema de producción si este es producido y consumido, es decir, este es tanto un *output* como un *input* dentro de la red.

En este modelo, *DEA Network*, se supone que el vector de intensidad  $\lambda$  se diferencia entre los nodos  $k$  ( $\lambda_k$ ). Significa que hay fronteras  $k$  en este modelo y las DMU's eficientes en las fronteras son diferentes de nodo a nodo.

Para saber si se están utilizando tanto las variables como los indicadores correctos, se realiza una validación de estos mediante la aplicación de análisis factorial, en donde se realizan las pruebas de KMO y de Bartlett, un análisis de componentes principales y la varianza total explicada.

Posteriormente se realiza una propuesta de modelo *DEA Network* (figura 10) para medir la eficiencia de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel internacional en el periodo 2010-2017 el cual se explica de manera breve a continuación:

En el primer nodo denominado “Exploración y producción”, se establecen tres *inputs* ( $X_1^1$ ,  $X_2^1$  y  $X_3^1$ ), los cuales son representados por las reservas petroleras ( $X_1^1$ ), el número de empleados ( $X_2^1$ ) y el número de plataformas activas ( $X_3^1$ ).

Usando estos tres *inputs*, el nodo 1 de exploración y producción va a generar dos *outputs*, el primero es un *output* fijo denominado precio promedio por barril producido ( $y^1$ ), el segundo es un *output* denominado barriles de petróleo crudo producidos ( $y^2$ ) el cual servirá como *input* intermedio para el nodo 2 denominado “Transformación industrial” ( $y^2 \Rightarrow X_1^2$ ) y para el nodo 3 denominado “Comercialización” ( $y^2 \Rightarrow X_3^3$ ).

Para el nodo 2 “Transformación industrial se utilizó el *input* intermedio que viene del nodo 1 denominado barriles de petróleo crudo producidos ( $y^2 \Rightarrow X_1^2$ ) así como también se agrega el *input* denominado número de empleados ( $X_2^2$ ) y el *input* capacidad máxima de refinación por país ( $X_3^2$ ).

El nodo 2 de transformación industrial va a producir 2 *outputs* los cuales son rendimiento promedio de las refinerías ( $y^3$ ) y producción de productos petrolíferos ( $y^4 \Rightarrow X_2^3$ ), este último haciendo referencia a todos los productos que se deriven de la transformación del petróleo crudo. Este último *output* a su vez servirá de *input* intermedio para el nodo 3 denominado “comercialización”.

El nodo 3 “comercialización” está compuesto por tres *inputs*; el primero es el *input* intermedio que viene desde el nodo 1 llamado barriles de petróleo crudo producidos ( $y^2 \Rightarrow X_1^2$ ), así como el *input* intermedio que viene del nodo 2 llamado producción de productos petrolíferos ( $y^4 \Rightarrow X_2^3$ ), y se asume por último el *input* número de empleados ( $X_3^3$ ).

Del nodo 3 de “comercialización”, se van a generar tres *outputs*, el primero son las exportaciones de petróleo crudo ( $y^5$ ), el segundo son las exportaciones de productos petrolíferos ( $y^6$ ) y el último *output* que es el *output* final denominado ventas totales de la industria petrolera ( $y^7$ ).

Posteriormente se analiza mediante la figura 11, la operacionalización de manera completa del modelo propuesto para medir la eficiencia de la industria petrolera de los principales países petroleros en el periodo 2010-2017.

La importancia de la presente investigación recae en términos académicos, en que es un trabajo totalmente innovador ya que anteriormente tanto a nivel nacional como internacional no se ha realizado un estudio como tal de la eficiencia de la industria petrolera mediante la metodología del *DEA Network*. De igual manera su relevancia es tal, ya que el petróleo, como se pudo comprobar durante la pandemia que azotó al mundo en el 2020 es y seguirá siendo el recurso energético más importante e indispensable en todo el mundo para todos los medios de producción incluyendo las energías renovables.

El presente trabajo de investigación servirá como punto de análisis para entender por qué la industria petrolera de un determinado país logra alcanzar la eficiencia o bien, que es lo que causa su ineficiencia, vista desde la perspectiva de los nodos que lo componen, los cuales son la columna vertebral de dicha industria, de igual manera la presente investigación tiene un alcance tal, que logra identificar qué factores (*inputs/outputs*) hay que incrementar o disminuir para que cada nodo de la industria logre alcanzar la eficiencia optima deseada.

Para llevar a cabo el estudio, se seleccionaron dieciséis países con una industria petrolera altamente desarrollada responsables desde la exploración, extracción y producción del crudo, pasando por la transformación del mismo en distintos derivados del petróleo hasta su comercialización tanto de manera interna dentro de su país de origen como externa en distintas partes del mundo. Los países seleccionados para realizar el presente estudio fueron México, Rusia, Estados Unidos, China, Brasil, Canadá, Angola, España, Francia, Reino Unido, Países Bajos, Kuwait, Venezuela, Kazajistán, Emiratos Árabes Unidos y Argelia. El periodo seleccionado para estudiar a la industria petrolera de estos países fue del año 2010 al año 2017. El motivo para seleccionar tanto a los países antes mencionados como el periodo de tiempo recae principalmente en la disponibilidad de los datos para poder aplicar el modelo *DEA Network*, sin embargo, la representatividad de dichos países en la industria petrolera a nivel mundial es significativa y no afecta el desempeño del presente estudio.

La presente tesis se encuentra estructurada en cuatro partes y un total de siete capítulos con sus conclusiones y recomendaciones. La parte uno, que comprende el capítulo uno y dos, aborda en su primer capítulo “Nacimiento y desarrollo de la industria petrolera en el contexto internacional” la contextualización de lo que ocurre con la industria petrolera en la actualidad a nivel mundial, de la importancia histórica que ha tenido y de la importancia que tendrá a corto, mediano y largo plazo. De igual manera se describen y analizan cada uno de los países con los cuales se va a comparar México en cuanto al desempeño de su industria petrolera se refiere. En el segundo capítulo “Origen, desarrollo y estructura de la industria petrolera en México” se revisa y analiza cómo ha sido la evolución de la industria petrolera en México y cuál ha sido su relevancia a través de los años en el crecimiento y desarrollo económico del país y como esta está compuesta al día de hoy.

La parte dos, que comprende el capítulo tres y cuatro, inicia en su tercer capítulo “Fundamentos teóricos y metodológicos del *Data Envelopment Analysis*” una revisión de todos los fundamentos que dan pie a lo que se conoce hoy en día como modelo DEA, pasando por los métodos de frontera y no frontera, paramétricos y no paramétricos, así como la evolución que ha tenido el concepto de eficiencia y sus distintas aplicaciones a través del tiempo. El cuarto capítulo “Fundamentos teóricos y metodológicos del *Network Data Envelopment Analysis*” hace referencia a los antecedentes históricos que le dan forma a dicho método, desde su conceptualización hasta su aplicación matemática y la relevancia que este modelo tiene en el estudio de la eficiencia.

La parte tres, que abarca el capítulo cinco y seis, plantea en el capítulo cinco “El análisis envolvente de datos y el *Network*: estudios de caso” la revisión de todos aquellos estudios en donde se han aplicado los modelos DEA y *DEA Network* a la industria petrolera o bien sobre algunos procesos de producción de dicha industria y la forma en que estos han tenido un impacto en la eficiencia de dicha industria. En el sexto capítulo “*Network Data Envelopment Analysis*: una propuesta metodológica para medir la eficiencia de la industria petrolera en México” se plantea la estructura y operacionalización del modelo *DEA Network* en la industria petrolera, de igual manera se revisan cada una de las variables y se plantea el modelo matemático de dicho modelo.

En la parte cuatro, comprendido por el capítulo siete “La eficiencia a través del *Network Data Envelopment Analysis* de la industria petrolera en México” se revisan los resultados obtenidos a partir de la recolección y aplicación de las variables seleccionadas para determinar si existió o no eficiencia en cada una de las industrias petroleras de cada país.

Por último, se consideran las conclusiones y recomendaciones en las cuales se menciona la situación en términos de eficiencia de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel internacional durante el periodo 2010-2017 así como, los medio para hacer un mejor uso de los recursos que permitan alcanzar la eficiencia optima de dicha industria en cada país, especialmente la industria petrolera de mexicana.

# **PARTE I**

# **LA INDUSTRIA PETROLERA**

# CAPÍTULO 1

## NACIMIENTO Y DESARROLLO DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

---

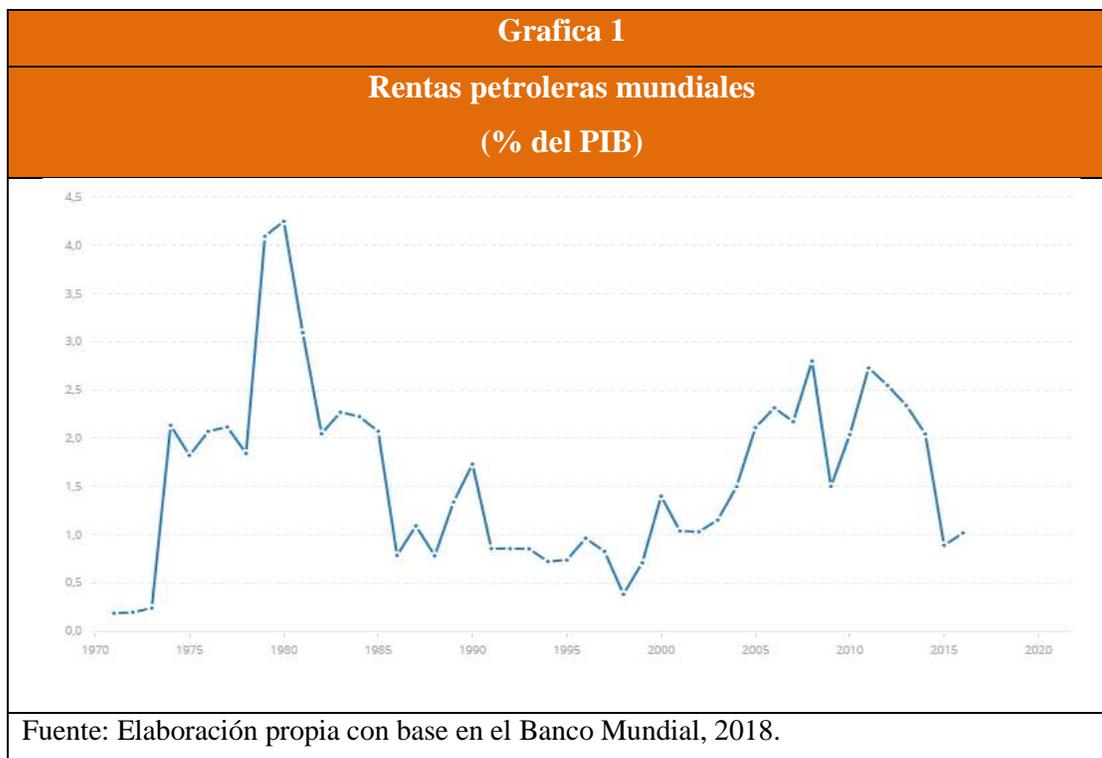
El presente capítulo se centra en el estudio de la industria petrolera desde su nacimiento hasta como se le conoce el día de hoy, de igual manera estudiando su desarrollo y analizando la manera en que esta industria ha cobrado tanta importancia para el desarrollo y crecimiento de muchos países alrededor del mundo.

### **1.1 Contexto de la industria petrolera a nivel mundial**

El petróleo y su industria es considerada dentro de las más importantes a nivel mundial, esto debido a que, a través de los años, el petróleo ha sido la principal fuente de energía en distintos rubros, sin él no podrían ser operadas las fábricas a nivel mundial o simplemente no se podría hacer uso de un vehículo para poder transportarse debido a las gasolinas.

La industria petrolera internacional en sus inicios se expandió rápidamente después de la Segunda Guerra Mundial, después de haber descubierto la más grande de las reservas petroleras con muy bajos costos de producción en Venezuela y un puñado de países en el Medio Oriente, por un grupo de compañías estadounidenses y europeas (Parra, 2005).

En la actualidad, la economía mundial ha logrado desarrollarse gracias a la industria del petróleo como su fuente fundamental durante poco más de un siglo. La industria petrolera es responsable de alrededor del 1.08% del PIB mundial (Véase gráfica 1) y, de igual manera, equivale a un tercio del suministro de energía básica de la humanidad. Debido a que el petróleo se ha convertido en un elemento tan indispensable para el ser humano, estos mismos se ven afectados de manera importante por lo que suceda con dicho bien (Bembibre, 2011).



La industria del petróleo es considerada dentro de las más importantes a nivel mundial, esto debido a que a través de los años el petrolero ha sido la principal fuente de energía en distintos rubros, sin él no podrían ser operadas las fábricas a nivel mundial o simplemente no se podría hacer uso de un vehículo para poder transportarse debido a las gasolinas. De acuerdo con REPSOL (2002), el petróleo, en la actualidad, es la principal fuente de energía en todo el mundo, y la materia prima más importante para el desarrollo del comercio entre países.

En el sector primario son fundamental para el funcionamiento de maquinarias los sistemas de riego, funcionamiento de los tractores y para la creación de fertilizantes agrícolas. A partir de los derivados del petrolero se obtienen una variedad inmensa de productos que van desde el producir plástico para todo tipo de productos, algunos cosméticos, detergentes, la ropa de nylon entre otras muchas cosas.

La industria petrolera no solo es importante por la extracción y producción de petróleo crudo y derivados que de este se obtienen, sino que también destaca por la extracción y producción

de gas, el cual se obtiene al mismo tiempo que se extrae el crudo. El gas ha sido de igual manera indispensable para la actividad diaria del ser humano, como también ha sido importante en el crecimiento de esta industria. Dentro de los productos que se obtienen de la extracción de gas y posterior a su procesamiento tenemos los gases combustibles como lo son el gas licuado del petróleo (LP), gas natural, gas doméstico y el propano.

Debido a la importancia que ha tenido la industria petrolera a nivel mundial, este ha tenido sus altas y sus bajas a través de la historia, pasando por momentos de mucha abundancia económica, así como de grandes crisis que han afectado a muchos países tanto productores como dependientes de este recurso. De acuerdo con Catarina (2005) la industria petrolera ha pasado del auge y la bonanza a difíciles crisis que, después han repuntado con fuerza, esto debido a su propia naturaleza expuesta a fluctuantes condiciones y a las políticas económicas que los países productores han adoptado frente a esta industria.

Debido a lo mencionado anteriormente, el comercio de bienes tanto naturales como derivados de la industria petrolera ha tenido que adaptarse al clima cambiante y competitivo que este ha representado. El ser eficiente conlleva a tener una mayor productividad que a su vez, se ve reflejado en el aspecto competitivo de las empresas que componen dicha industria, una muestra es la eficiencia en la cual se han enfocado las empresas para la exploración y producción de crudo y gas, así como la transformación de estos, todo esto basado en una correcta planeación, análisis de estratégicos bien estudiados, inversión que permita generar investigación y desarrollo en tecnologías (Alaminos, 2018). Todo esto sustentado de unas finanzas “saludables” de las empresas.

Las principales empresas petroleras más importantes a nivel mundial de acuerdo con FORBES (2018) son:

<b>Tabla 1</b>			
<b>Empresas petroleras más importantes a nivel mundial</b>			
<b>Ranking</b>	<b>Empresa</b>	<b>País</b>	<b>(Millones bl/día)</b>
1	Saudi Aramco	Arabia Saudita	12.5
2	Gazprom	Rusia	9.7
3	National Iranian Oil Co.	Irán	6.4
4	ExxonMobil	Estados Unidos	5.3
5	PetroChina	China	4.4
6	British Petroleum	Inglaterra	4.1
7	Royal Dutch Shell	Holanda	3.9
8	PEMEX	México	3.6
9	Chevron	Estados Unidos	3.5
10	Kuwait Petroleum Corp.	Kuwait	3.2
11	Abu Dhabi National Oil Co.	Emiratos Árabes Unidos	2.9
12	Sonatrach	Argelia	2.7
13	Total	Francia	2.7
14	Petrobras	Brasil	2.6
15	Rosneft	Rusia	2.6
16	Iraqi Oil Ministry	Iraq	2.3
17	Qatar Petroleum	Qatar	2.3
18	Lukoil	Rusia	2.2
19	Eni	Italia	2.2
20	Statoil	Noruega	2.1
21	Conoco Phillips	Estados Unidos	2.0
22	Pdvs	Venezuela	1.9
23	Sinopec	China	1.6
24	Nigerian National Petroleum	Nigeria	1.4
25	Petronas	Malasia	1.4

Fuente: Elaboración propia con base en FORBES, 2018.

Como se puede observar en la tabla 1. La empresa petrolera más importante para el año 2018 fue la empresa Saudi Aramco, esto medido en millones de barriles producidos por día con un total de 12.5, seguido por Gazprom con 9.7, National Iranian Oil Co. Con 6.4, Exxon Mobil con 5.3 y Petrochina con 4.4, tomando en cuenta los cinco más importantes. PEMEX, la empresa mexicana, se encuentra ubicado en la posición ocho solo después de Royal Dutch

Shell, y es la primera empresa latinoamericana que destaca dentro de esta lista, le sigue PETROBRAS en el puesto catorce como la segunda más importante de Latinoamérica.

En cuanto a nivel país se refiere, en la tabla 2 se muestra a los países con mayor producción de petróleo en el mundo (CIA, 2017):

<b>Tabla 2</b>		
<b>Países con mayor producción de petróleo</b>		
<b>Ranking</b>	<b>País</b>	<b>(bl/día)</b>
1	Rusia	10,830,000
2	Arabia Saudita	10,050,000
3	Estados Unidos	9,415,000
4	Iraq	4,590,000
5	China	3,983,000
6	Canadá	3,677,000
7	Irán	3,300,000
8	Emiratos Árabes Unidos	2,820,000
9	Kuwait	2,718,000
10	Brasil	2,532,000
11	Venezuela	2,500,000
12	Nigeria	2,317,000
13	México	2,154,000
14	Angola	1,842,000
15	Kazajistán	1,621,000
16	Noruega	1,610,000
17	Qatar	1,532,000
18	Unión Europea	1,507,000
19	Argelia	1,370,000
20	Colombia	1,019,000
21	Omán	982,000
22	Reino Unido	893,300
23	Azerbaiyán	842,000
24	Indonesia	831,000
25	India	761,000

Fuente: Elaboración propia con base en CIA, 2017.

La OCDE (2020) define a la producción de petróleo como las cantidades de petróleo extraídas del suelo después de la eliminación de materia inerte o impurezas. Incluye petróleo crudo, líquidos de gas natural (LGN) y aditivos. De igual manera, la OCDE (2020) define al petróleo como “un aceite mineral que consiste en una mezcla de hidrocarburos de origen natural, de color amarillo a negro, y de densidad y viscosidad variables”. Los LGN son los hidrocarburos líquidos o licuados producidos en la fabricación, purificación y estabilización del gas natural. Los aditivos son sustancias no hidrocarbonadas agregadas o mezcladas con un producto para modificar sus propiedades, por ejemplo, para mejorar sus características de combustión (ídem).

Como se puede observar en la tabla 2, el orden de importancia en términos de producción de petróleo por país no cambia mucho con respecto a la tabla 1 donde se mide la producción por empresa. En este orden Rusia ocupa el puesto número uno, seguido de Arabia Saudita, Estados Unidos, Iraq y China, tomando en cuenta los primeros cinco.

Respecto a México vemos que cae al puesto número trece a nivel país y es superado por Brasil quien ocupa el puesto número diez, seguido por Venezuela con el puesto número once. En este punto, se pueden empezar a observar que México empieza a tener problemas de eficiencia en términos de producción.

Dentro de este grupo de países líderes productores de petróleo en el mundo cabe destacar que las empresas que los representan son tanto del sector privado como propiedad del estado y en ciertos casos una combinación de ambos.

De las variables importantes a analizar, encontramos las reservas petroleras con las que cuentan los países. A continuación, se enlistan los 25 países con mayores reservas petroleras en el mundo de acuerdo con CIA (2017):

<b>Tabla 3</b>		
<b>Países con mayores reservas probadas de petróleo</b>		
<b>Ranking</b>	<b>País</b>	<b>(bl/día)</b>
1	Venezuela	300,000,000,000
2	Arabia Saudita	269,000,000,000
3	Canadá	171,000,000,000
4	Irán	157,800,000,000
5	Iraq	143,000,000,000
6	Kuwait	104,000,000,000
7	Emiratos Árabes Unidos	98,000,000,000
8	Rusia	80,000,000,000
9	Libia	48,360,000,000
10	Nigeria	37,000,000,000
11	Estados Unidos	36,520,000,000
12	Kazajistán	30,000,000,000
13	China	25,000,000,000
14	Qatar	25,000,000,000
15	Brasil	16,000,000,000
16	Argelia	12,000,000,000
17	México	9,700,000,000
18	Ecuador	8,832,000,000
19	Angola	8,400,000,000
20	Azerbaiyán	7,000,000,000
21	India	5,675,000,000
22	Unión Europea	5,600,000,000
23	Omán	5,300,000,000
24	Noruega	5,100,000,000
25	Sudan	5,000,000,000

Fuente: Elaboración propia con base en CIA, 2017.

Como se puede observar en la tabla 3, las reservas petroleras por país están muy marcadas, ya que Venezuela, quien ocupa el primer lugar destaca por sobre los demás con un gran número de barriles de reserva, en segundo lugar, se encuentra Arabia Saudita y muy por debajo en tercer lugar Canadá. México se encuentra en el puesto número diecisiete al 2017. Sin embargo, como se ha podido analizar, el que un país cuente con un gran número de

reservas no significa que sea un gran productor de petróleo, por lo tanto, se vuelve trascendental el análisis de eficiencia en la presente industria.

Para poder determinar y comprender la eficiencia de la industria petrolera de los principales países a nivel mundial, es importante primero conocer su historia y sus principales indicadores. A continuación, se revisará cada uno de los países petroleros con los que se trabaja en la presente investigación, basado en la información obtenida y previamente seleccionada.

## **1.2 Rusia y su industria petrolera**

El petróleo ha sido una parte clave de la economía rusa durante décadas, Siendo originalmente que Rusia, no era un estado petrolero. Es difícil evaluar con precisión la importancia del petróleo y el gas natural para la economía rusa, pero, según las últimas estimaciones, el petróleo y el gas natural representaron aproximadamente una quinta parte del PIB de Rusia en la década de 2000. Han representado a través de los años aproximadamente el 30% de los ingresos del presupuesto ruso y poco más de la mitad de los ingresos se dan a través de las exportaciones (Simola y Solanko, 2017).

Las compañías rusas más grandes operan en el sector de petróleo y gas, y su ponderación en el índice del mercado de valores ruso asciende a más de la mitad. Tanto el mercado de valores ruso como el tipo de cambio del rublo siguen de cerca el desarrollo del precio del petróleo. Desde el punto de vista del mercado laboral, la importancia del sector del petróleo y gas es pequeña, comparándola con la producción, el transporte de petróleo y gas, así como la industria de refinación de petróleo que tiene el país. (*Ibíd*).

Rusia en la actualidad, es el principal país productor de petróleo y gas en el mundo, convirtiéndose en una potencia en esta industria y aportando grandes cantidades al PIB de dicho país (OPEP, 2018).

En la actualidad existen 2 principales empresas productoras de petróleo en Rusia, siendo tanto empresas pertenecientes al estado como particulares, estas empresas son Lukoil y Rosneft.

### **LUKOIL**

LUKOIL ha sido durante 27 años una de las compañías líderes mundiales en producción de petróleo crudo y gas, y en refinamiento de crudo en productos petrolíferos y petroquímicos. El 25 de noviembre de 1991, el gobierno de la República Socialista Federal Soviética de Rusia emitió el Reglamento No. 18 para crear el grupo de la industria petrolera LangepasUrayKogalym (LUKOIL) que consolidó tres empresas de producción de petróleo de Kogalym, Langepas y Uray, así como varias refinerías, entre ellas en Perm y Volgogrado (Lukoil, 2018).

El nombre LUKOIL se formó a partir de las letras iniciales de los nombres de las ciudades de Langepas, Urai y Kogalym, donde se encuentran las principales subsidiarias productoras de petróleo de la Compañía. El nombre fue propuesto por Ravil Maganov, quien era entonces director general de Langepasneftegaz (ibíd).

El modelo de negocio de LUKOIL se basa en el principio de integración vertical eficiente para crear valor agregado y hacer que nuestro negocio sea altamente resistente a través de la diversificación de riesgos. La exploración y producción de petróleo y gas son el pilar central del negocio del grupo. Sus operaciones ascendentes cubren doce países y se concentran principalmente en Rusia, Asia Central y Oriente Medio. El desarrollo del segmento “downstream” ayuda a la empresa a disminuir la dependencia de la volatilidad de los precios del petróleo y fortalecer la competitividad al entregar productos de alto valor agregado. LUKOIL ofrece una amplia gama de productos de petróleo de alta calidad, productos de procesamiento de gas y productos petroquímicos; y gestiona ventas mayoristas y minoristas en 18 países (ibíd.).

### **ROSNEFT**

La historia de Rosneft Oil Company está íntimamente relacionada con la historia de la industria petrolera rusa. La primera mención de las empresas, ahora parte de la estructura de

Rosneft, se remonta a finales del siglo XIX. En 1889, cuando comenzó la exploración de campos petroleros en Sakhalin (Rosneft, 2018).

Los activos clave de Rosneft se construyeron en la era soviética, con el inicio del desarrollo a gran escala de nuevos campos de petróleo y gas. En la década de 1990, numerosas empresas del complejo de combustible y energía y otras empresas relacionadas del sector público se fusionaron en compañías integradas verticalmente siguiendo el patrón de las corporaciones más grandes del mundo, seguida de su venta parcial o completa a inversores privados. La mayor parte de la industria petrolera fue privatizada. La administración de los restantes activos estatales de petróleo y gas fue realizada por la empresa estatal Rosneft, que en septiembre de 1995 se reorganizó en una sociedad anónima abierta Rosneft Oil Company.

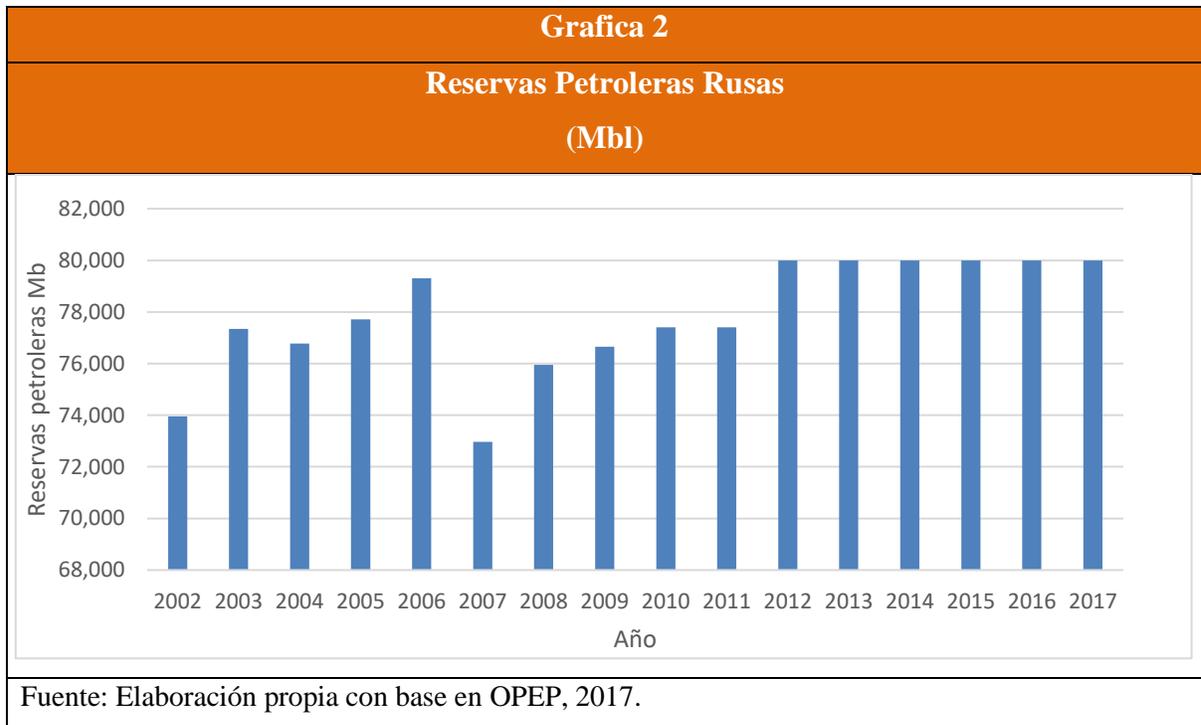
En 2016, Rosneft demostró una alta eficiencia operativa y logró brindar un apoyo sustancial al presupuesto ruso debido a la finalización de una transacción de privatización y las deducciones fiscales. El principal éxito de Rosneft fue, por supuesto, la finalización de una transacción integral para privatizar una participación del 19,5% en la compañía y la participación mayoritaria en Bashneft, como resultado de lo cual el Estado recibió 1.04 billones de rublos (los pagos totales de la Compañía al presupuesto para 2016 superó los 3 billones de rublos) (ibíd).

La participación de Rosneft en la producción de petróleo en la Federación Rusa es de alrededor del 40%, y en la producción mundial, más del 5%. El desarrollo activo de la exploración y producción pronto garantizará el éxito del 98% de la exploración geológica de la Compañía, un aumento fundamental en el éxito tecnológico de la perforación y el desvío de la producción, al tiempo que se mantiene una alta eficiencia económica (Ibíd).

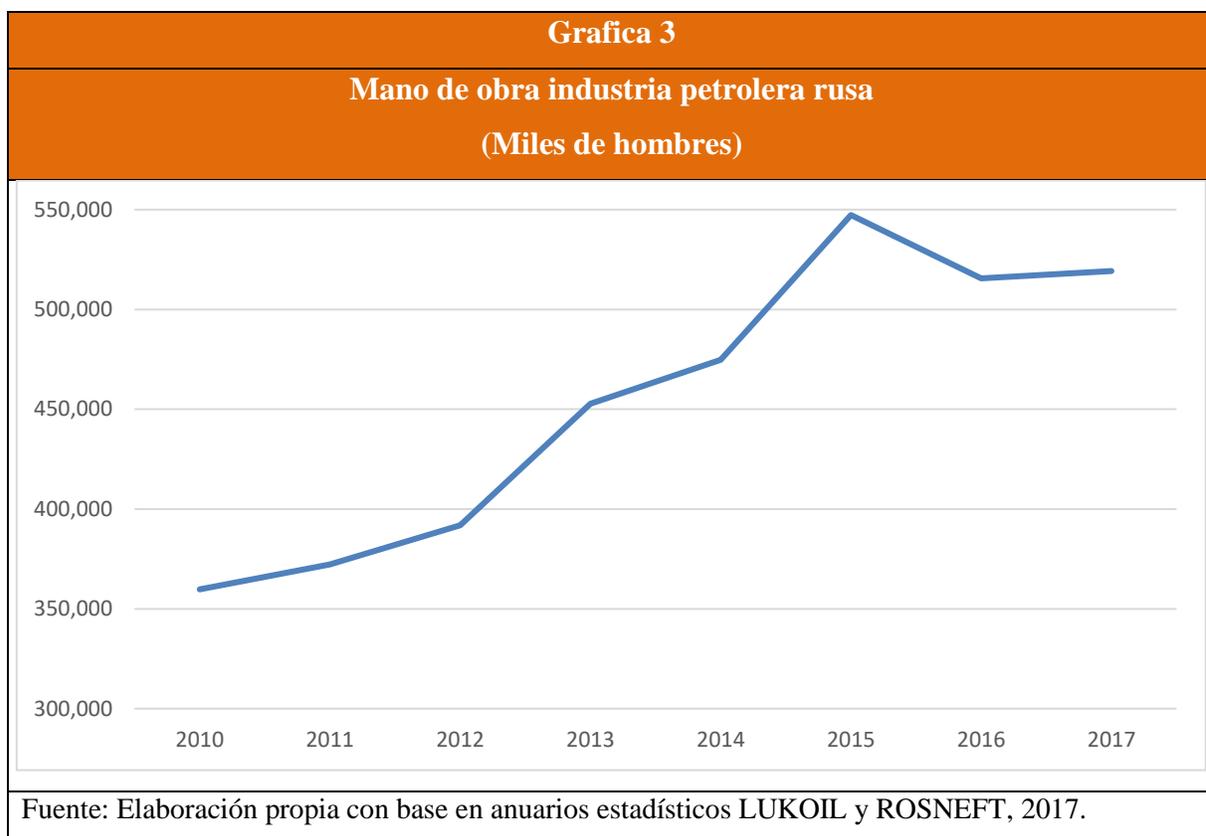
Rosneft posee 18 refinerías de petróleo en Rusia y en el extranjero. En 2016, el volumen de refinación en las refinerías rusas de la Compañía aumentó un 3,3%, y en las refinerías extranjeras, un 4,8%. El rendimiento de los productos de petróleo ligero en el último año aumentó y alcanzó el 56%, la eficiencia de procesamiento aumentó al 71,2% (Ibíd).

Habiendo entendido un poco el contexto de la industria petrolera rusa y que empresas lo componen de manera representativa, a continuación, se presentan los principales indicadores de estudio para la presente investigación sobre la industria petrolera rusa, como son el caso

de las reservas internacionales, mano de obra, número de plataformas activas, precio promedio por barril, barriles de petróleo producido, capacidad de refinación, rendimiento promedio de las refinerías entre otras (ibíd.).

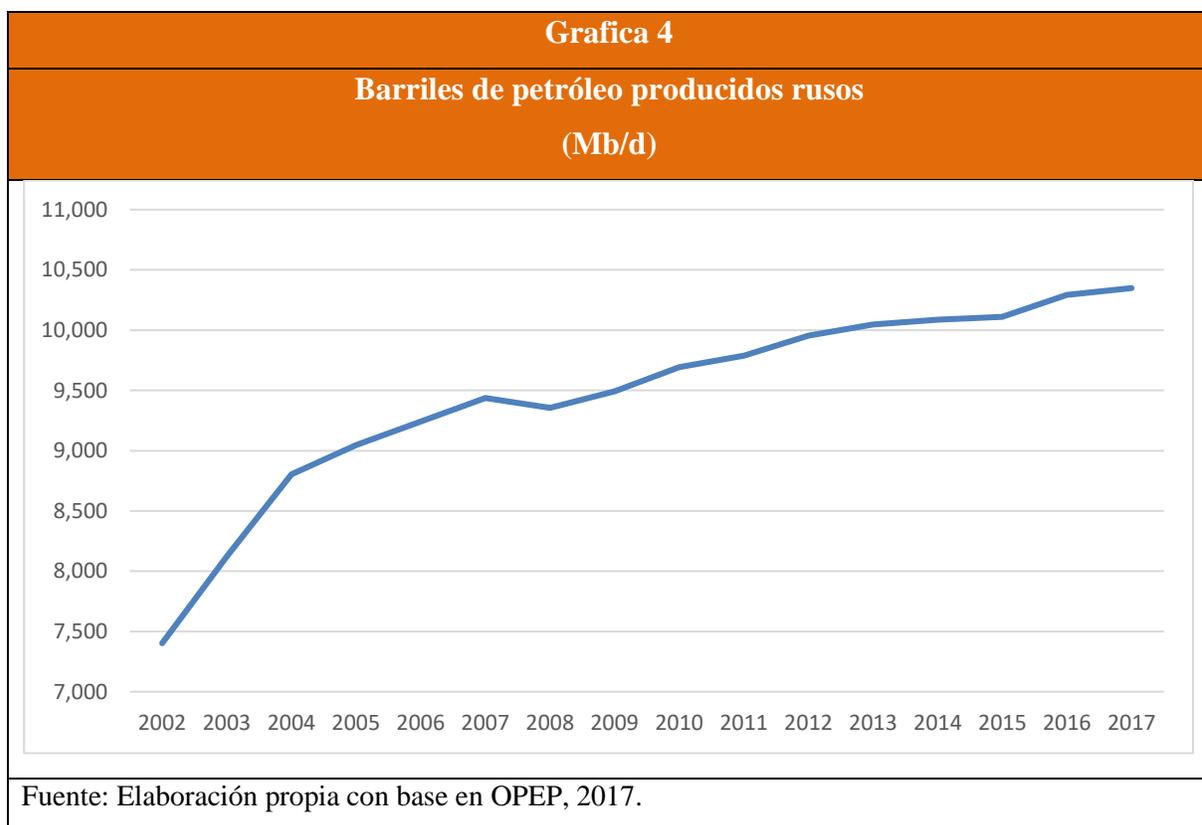


El análisis de las reservas petroleras rusas que se presentan en la gráfica 2 comprenden del periodo 2002 al 2017 teniendo un incremento de las reservas de manera general del 2002 al 2006, en el siguiente año se tuvo una importante caída sin embargo se recuperó para el 2010. A partir del 2012 hasta 2017 las reservas se han mantenido en un promedio de 80,000 barriles, pudiendo tener un crecimiento dependiendo del avance tecnológico en el área de exploración y de perforación.



En cuanto a la mano de obra se puede observar en la gráfica 3 que esta tuvo un incremento muy importante del 2010 al 2015, teniendo una caída a partir de este año la cual se ha mantenido constante a partir del 2016 hasta la fecha, esta caída en la mano de obra fue un suceso a nivel mundial en la industria debido a la inestabilidad de esta en el 2015 en particular.

Uno de los factores más destacados, y, por ende, mas importantes para el análisis de la industria petrolera rusa, es la producción de petróleo la cual se puede observar en la gráfica 4:



La industria petrolera rusa, como se pudo observar anteriormente, juega un papel importante en la actividad económica de Rusia, así como en el desempeño de la industria petrolera a nivel mundial, dada su importancia en este.

### 1.3 China y su industria petrolera

En china la empresa más importante y referente de la industria petrolera es PetroChina. Es la empresa de mayor producción y distribución de petróleo y gas. Desempeña un papel clave en la industria del petrolera y de gas en China. PetroChina, además de ser una de las empresas con mayores ingresos por ventas en China, es también una de las compañías petroleras más grandes a nivel mundial. El 5 de noviembre de 1999, PetroChina se estableció como una sociedad anónima con pasivos limitados por China National Petroleum Corporation en virtud de la ley de sociedad anónima y el reglamento especial sobre la oferta y cotización de acciones en el extranjero por parte de la sociedad anónima (CNPC, 2018).

PetroChina es una transnacional de energía con un fuerte grado de competencia y uno de los principales productores y distribuidores de petróleo y derivados petrolíferos en el mundo. Dentro de sus actividades relacionadas con el petróleo y el gas natural, se encuentran actividades de exploración, desarrollo, producción y comercialización de petróleo crudo y gas natural; de igual manera realizan procesos de refinación, transporte, almacenamiento y comercialización de productos derivados del petróleo; la producción y comercialización de productos petroquímicos primarios, productos químicos derivados y otros productos químicos; transporte de gas natural, petróleo crudo y petróleo refinado, y comercialización de gas natural (ibíd.).

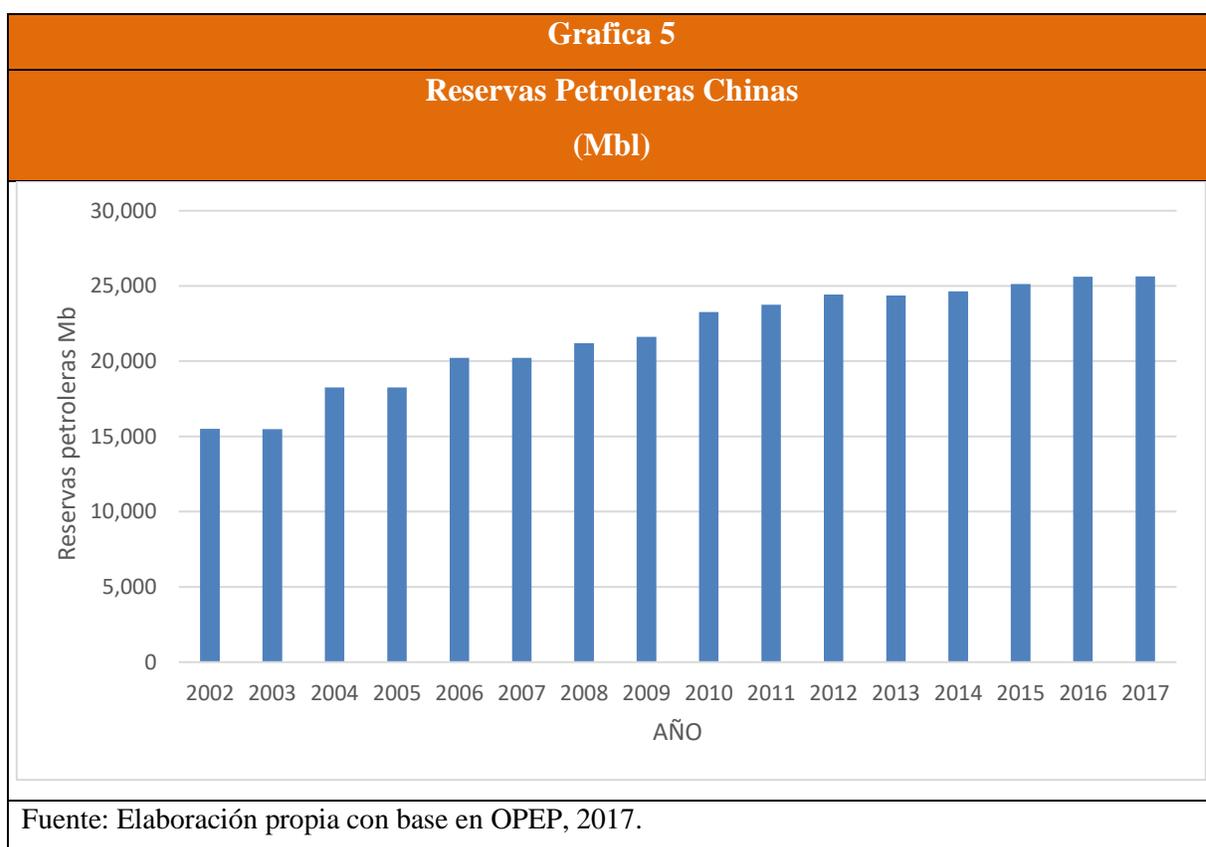
El negocio de la compañía cubre todos los sectores clave en la industria petrolera y petroquímica. Forma una cadena de negocios óptima, eficiente e integrada, desde la exploración y producción de petróleo crudo y gas natural hasta la refinación, producción de bienes químicos, tuberías y comercialización, este encadenamiento mejora considerablemente la eficiencia de la operación, reduce los costos y ayuda a mejorar la competitividad del núcleo y la capacidad global contra el riesgo (ibíd.).

China National Petroleum Corporation (CNPC) es el accionista mayoritario de PetroChina. Está compuesto por un gran grupo empresarial petrolero y petroquímico, se estableció en julio de 1998, de conformidad con el plan para la reforma de la estructura de las organizaciones del consejo de estado. CNPC es administrada por los órganos de inversión autorizados por la comisión de supervisión y administración de activos estatales de China (ibíd.).

Al adherirse a las misiones de Energizar, Armonizar y Realizar, PetroChina está comprometida con la política de desarrollo constante e impulsa las estrategias de recursos, mercados, internacionalización e innovación, con el fin de crear una empresa internacional de energía de clase mundial. La compañía se enfoca en mejorar la calidad y la eficiencia, se esfuerza por optimizar las dos cadenas de valor del petróleo y el gas, da prioridad a la exploración y desarrollo de petróleo y gas, desarrolla de manera eficiente la refinería y la comercialización, acelera el desarrollo del gas natural y las tuberías, y coordina el desarrollo del comercio internacional de negocios. La compañía implementa seis iniciativas principales: reforma profunda, abierta a la cooperación, innovación tecnológica, agrupación de talentos,

reglas corporativas por ley, y garantiza la seguridad en todo el desarrollo, para formar una buena imagen de la empresa y mejorar la solidez general, la competitividad internacional y la capacidad de desarrollo sostenible. de la Compañía (ibíd.).

Habiendo entendido un poco el contexto de la industria petrolera China, a continuación, se presentan los principales indicadores de estudio para la presente investigación sobre la industria petrolera rusa, como son el caso de las reservas internacionales, mano de obra, número de plataformas activas, precio promedio por barril, barriles de petróleo producido, capacidad de refinación, rendimiento promedio de las refinerías entre otras

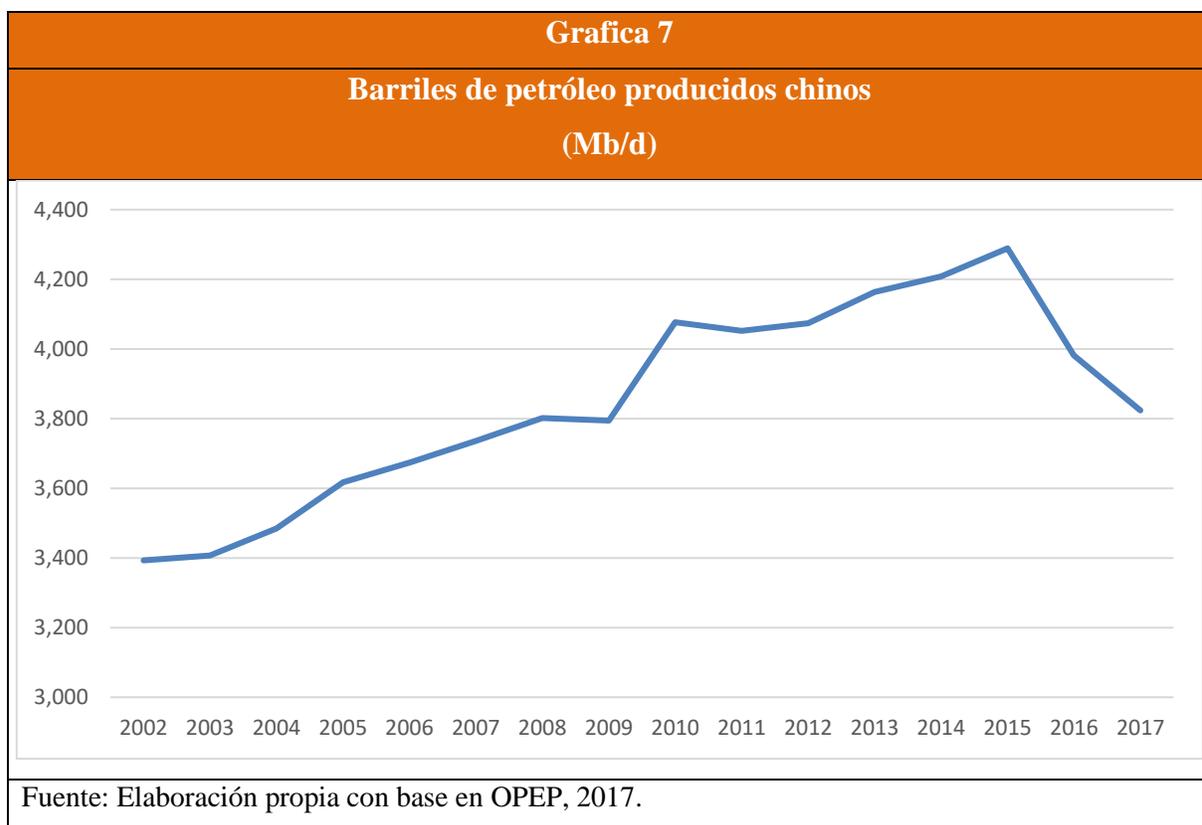


Las reservas petroleras chinas, como se observa en la gráfica 5, han ido incrementando desde el periodo 2002 al año 2017 provocando que la industria China se mantenga estable y con producción asegurada durante un periodo considerable.



La mano de obra en la industria petrolera China, como se puede apreciar en la gráfica 6, tuvo un incremento importante desde el 2004 hasta el 2010, manteniéndose constante hasta el 2012 y a partir de este año comenzó a tener una caída significativa, esto debido a las condiciones petroleras a nivel mundial.

Esta condición de crisis en la mano de obra en la industria petrolera no solo afecta a China, sino que es una afectación causada por la caída en los precios del petróleo y la sobreproducción del mismo.



Como se puede apreciar en la gráfica 7, la producción de petróleo chino tuvo un importante crecimiento del 2002 al 2015, sin embargo, del 2016 al presente año ha tenido una importante caída afectando de cierta manera los ingresos petroleros chinos.

#### **1.4 Angola y su industria petrolera**

La principal empresa petrolera en Angola es Sonangol. En 1976 el decreto 52/76 instituyó Sonangol, Sociedad Nacional de Combustibles de Angola., Como una empresa estatal cuya misión era la gestión de la exploración de recursos de hidrocarburos en Angola. A pesar de tener al gobierno como único accionista, Sonangol siempre se ha gobernado como una empresa privada y se encuentra bajo estrictos estándares de rendimiento para garantizar la eficiencia y la productividad (Sonangol, 2018).

Después de la incorporación de Sonangol, se estableció un comité de gestión para crear las infraestructuras necesarias para que la empresa comenzara a desarrollar sus actividades comerciales. El comité de gestión se convirtió más tarde en una junta directiva (ibíd.).

Tras la independencia, varias compañías petroleras abandonaron Angola por una razón u otra, dejando atrás sus infraestructuras y antiguos empleados. Con este fin, Sonangol compró los locales de Texaco, Fina y Shell y, a través de un acuerdo, adquirió los de Mobil. En este proceso, Sonangol también absorbió a los ex empleados de las compañías petroleras que una vez operaron en Angola (ibíd.).

La ausencia de nacionales calificados para la industria petrolera local obligó a Sonangol a comenzar a prestar especial atención a la capacitación y el desarrollo profesional de sus empleados. El primer grupo de estudiantes se envió a Italia con becas en colaboración con ENI - Italian Oil Company. Un segundo grupo más grande fue a Argelia. Los primeros estudiantes patrocinados se graduaron y regresaron a Angola a fines de los años setenta. Se convirtieron en la fuerza impulsora detrás de un Sonangol más moderno (ibíd.).

Centrándose en la diversificación de sus actividades comerciales, Sonangol ha desarrollado empresas conjuntas y ha establecido compañías que promueven el desarrollo social de Angola y la expansión de Sonangol. Al priorizar la gestión de hidrocarburos, la protección del medio ambiente y la seguridad industrial, Sonangol ha creado un negocio diversificado que se centra en el petróleo. Más de 30 subsidiarias y empresas conjuntas ahora forman parte del Grupo Sonangol (ibíd.).

En las últimas dos décadas, Sonangol se ha expandido a un grupo de empresas integradas y, en el proceso, se convirtió en el principal distribuidor de productos refinados de Angola y promotor del desarrollo de los recursos sociales y nacionales (ibíd.).

A través de la experiencia adquirida, el trabajo arduo y el desarrollo sostenido, Sonangol ha ganado prestigio y ha adquirido una sólida reputación en la industria petrolera tanto en Angola como en el extranjero. Este es el resultado directo de las excelentes relaciones con las compañías petroleras que operan, o que tienen intereses e inversiones, en Angola.

## **1.5 Inglaterra y su industria petrolera**

En Inglaterra. La empresa más importante en la industria petrolera es British Petroleum. Esta empresa no solo es reconocida en su país, sino que es una de las más grandes empresas petroleras a nivel mundial y con mayor influencia en este sector.

La historia de British Petroleum data de 1908 con el descubrimiento de petróleo en Persia, su historia siempre ha sido acerca de las transiciones: del carbón al petróleo, del petróleo al gas, de la costa al agua profunda, y ahora a una nueva combinación de fuentes de energía a medida que el mundo avanza hacia un futuro con menos carbono (BP, 2018).

Para encontrar petróleo en Persia, George Reynolds y su caravana de exploradores habían vivido siete años de duro calor, enfermedades gástricas y decepciones. Los próximos siete años no serían menos difíciles para la Anglo-Persian Oil Company, que algún día se convertiría en BP (ibíd.).

BP opera en 70 países y tiene alrededor de 60,000 proveedores, con miles más que los respaldan. Juegan un papel importante en la estrategia que integra la ambición de ser un negocio sólido y exitoso con la aspiración de ser un buen ciudadano corporativo (ibíd.).

Desde las profundidades marinas hasta el desierto, desde las plataformas hasta el comercio minorista, BP entrega productos y servicios energéticos a personas de todo el mundo. BP ofrece a los consumidores combustible para el transporte, energía para el calor y la luz, lubricantes para mantener los motores en movimiento y productos petroquímicos que se utilizan para fabricar artículos de uso cotidiano (ibíd.).

## **1.6 Estados Unidos y su industria petrolera**

La historia del petróleo estadounidense comenzó en un valle a lo largo de un arroyo en el remoto noroeste de Pennsylvania. La industria de exploración y producción de hoy nació el 27 de agosto de 1859, cerca de Titusville, cuando un pozo específicamente perforado para petróleo lo encontró. Aunque el petróleo crudo había sido encontrado y embotellado para

medicina desde 1814 en Ohio y en Kentucky en 1818, estos habían sido perforados en busca de salmuera. Los perforadores a menudo utilizaban una tecnología antigua, el "polo de resorte". A veces, los pozos de sal producían pequeñas cantidades de aceite, un subproducto no deseado.

Los inversores en la primera compañía petrolera de los Estados Unidos serían recompensados en el verano de 1859, cuando un ex conductor de ferrocarril utilizara tecnologías innovadoras para completar el primer pozo de petróleo comercial del país. Se difundieron noticias sobre el petróleo viscoso y fácilmente refinado (del latín "petra", roca y "oleum", aceite). El pozo de Pensilvania que lanzó la era del petróleo en Estados Unidos tenía 69.5 pies de profundidad.

En 1901, se dio uno de los descubrimientos petroleros más grandes de la historia el cual ocurrió cerca de Beaumont, Texas, en un montículo llamado Spindletop. Los perforadores trajeron el mayor gusano jamás visto en los Estados Unidos. Esta huelga acabó con cualquier posible monopolio por parte de Standard Oil. Un año después del descubrimiento de Spindletop, se habían constituido más de mil quinientas compañías petroleras. De estos, menos de una docena sobrevivieron, principalmente la Gulf Oil Corporation, la Magnolia Petroleum Company y la Texas Company. The Sun Oil Company, una empresa de Ohio-Indiana, también se mudó al área de Beaumont al igual que otras empresas. Otras huelgas petroleras siguieron en Oklahoma, Louisiana, Arkansas, Colorado y Kansas. La producción de petróleo en los Estados Unidos en 1909 superó a la del resto del mundo en conjunto.

En la actualidad la industria petrolera de Estados Unidos es una de las más importantes a nivel mundial, ocupando los primeros lugares en cuanto a producción se refiere. Todas las empresas pertenecen al sector privado, siendo las más relevantes e importantes en el mercado por su nivel de producción y por ingresos, Exxon mobil, Chevron, Connoco Phillips.

### **Exxon mobil Corporation**

Exxon y Mobil se fusionaron en 1999 para convertirse en Exxon Mobil Corporation. Tiene su sede en Irving, Texas y es la mayor compañía petrolera no estatal de Estados Unidos de América. De igual manera, es la segunda compañía de energía más grande del mundo después de PetroChina. En la actualidad es la empresa petrolera más importante del mundo. Sus operaciones multinacionales abarcan todo el mundo, incluidos los Estados Unidos, Canadá,

Bélgica y Noruega. Exxon Mobil opera en los tres sectores de la industria del petróleo produciendo gasolina, queroseno, lubricantes, asfalto y adhesivos que se venden bajo las marcas comerciales de Exxon, Mobil y Esso (Exxon, 2018).

Desde sus inicios como parte del imperio del petróleo estándar de John D. Rockefeller, Exxon Mobil se ha convertido en la empresa petrolera más importante de Estados Unidos con un valor para el 2017 de \$ 341.61 mil millones de dólares (ibíd.).

### **Chevron Corporation**

Chevron Corporation es una multinacional petrolera de Estados Unidos con sede en San Ramon, California. Descendida de Pacific Coast Oil Company, que se formó después del descubrimiento de petróleo en California en 1879, la compañía ha sufrido varias fusiones, más recientemente con Gulf Oil para convertirse en Chevron. Opera en todos los sectores de la industria petrolera que se dedica a la exploración y refinación de gas natural, la fabricación de productos químicos a base de petróleo y la producción de energía geotérmica. Su sistema de refinación global incluye refinerías en funcionamiento en California, Virginia y Mississippi en los Estados Unidos, y una en Irlanda, Corea del Sur, Singapur y Tailandia (Chevron, 2018).

Con importantes operaciones en algunas de las regiones de petróleo y gas más importantes del mundo, Chevron se centra en el Golfo de México, la costa occidental de Australia, África occidental y el esquisto y otras formaciones cerradas en los Estados Unidos y Canadá, entre otras regiones. Los combustibles y otros productos se comercializan bajo las marcas Chevron, Texaco y Caltex. Ocupa el segundo lugar entre las tres principales compañías petroleras estadounidenses con un valor de mercado de 2017 de \$ 197,03 mil millones (ibíd.).

### **Conoco Phillips Co.**

Conoco Inc. y Phillips Petroleum Company se fusionaron en 2002 para formar ConocoPhillips Co., una multinacional estadounidense de energía con sede en Houston, Texas. Basándose en sus reservas y producción probadas de gas natural y líquidos de gas natural (LGN), que son etano, propano y butano, ConocoPhillips es la mayor compañía independiente de exploración y producción (E&P) del mundo. Además, transporta y

comercializa sus productos, que incluyen petróleo crudo, asfalto, gas natural, plásticos, solventes, automóviles y combustibles de aviación, LGN y gas licuado de petróleo en todo el mundo. A finales de 2016, la compañía tenía operaciones en Alaska y los 48 estados más bajos en los Estados Unidos, Canadá, Europa, África del Norte, Asia Pacífico y Oriente Medio (Conoco Phillips, 2018).

Desde su inicio en 1875 en Utah como Continental Oil and Transportation Company, que distribuía petróleo, carbón y gas en todo el oeste de los Estados Unidos, la compañía ha alcanzado el tercer lugar entre las tres principales compañías petroleras estadounidenses con un valor de mercado de \$ 53.280 millones (ibíd.).

## **1.7 Holanda y su industria petrolera**

Holanda tiene una larga historia de producción y exploración de petróleo y gas. El primer pozo petrolero se encontró en tierra firme en 1923. La producción de petróleo de iniciación se realizó en el campo Schoonebeek en 1943. La fase principal de la exploración y producción del gas comenzó después del descubrimiento del yacimiento de gas gigante de Groningen en 1959. El primer campo offshore (L10) entró en funcionamiento en 1975. A pesar del hecho de que Holanda es un área madura para la exploración de petróleo y gas, vale la pena explorar los recursos restantes (Shell, 2018).

Como resultado de la exploración y producción de petróleo y gas, ahora hay una gran cantidad de datos disponibles. Se han perforado unos 1150 pozos de exploración y 2100 pozos de evaluación y producción. Se han adquirido más de 500.000 km de líneas sísmicas 2D y 66000 km<sup>2</sup> de sísmica 3D. Cifras de producción de gas de pozos que totalizan 5600 billones de Sm<sup>3</sup> de gas y 136 millones de Sm<sup>3</sup> de petróleo (ibíd.).

La empresa petrolera más importante en Holanda es Royal Dutch Shell, Comúnmente conocida como Shell, es una compañía de petróleo y gas británica-holandesa con sede en los Países Bajos e incorporada en el Reino Unido. Es uno de los seis "supermajors" de petróleo y gas y la sexta compañía más grande del mundo, medida por los ingresos de 2016 (y la más grande en Europa). Shell fue el primero en la lista Fortune Global 500 de las compañías más

grandes del mundo; en ese año, sus ingresos fueron equivalentes al 84% del PIB nacional holandés de \$ 556 mil millones (ibíd.).

La empresa Shell la cual se integra de manera vertical está inmersa en todas las áreas de producción de la industria del petróleo y el gas, incluyendo exploración y producción, la refinación, transporte, distribución y comercialización, petroquímicos, generación de energía y el comercio internacional. También tiene actividades de energía renovable, incluidos los biocombustibles, eólica e hidrógeno. Shell tiene operaciones en más de 70 países, produce alrededor de 3,7 millones de barriles de petróleo equivalente por día y cuenta con 44,000 estaciones de servicio en todo el mundo. Al 31 de diciembre de 2014, Shell tenía reservas probadas totales de 13.7 mil millones de barriles ( $2.18 \times 10^9$  m<sup>3</sup>) de equivalente de petróleo (ibíd.).

Shell se formó en 1907 a través de la fusión de la Royal Dutch Petroleum Company de los Países Bajos y la "Shell" Transport and Trading Company del Reino Unido. Hasta su unificación en 2005, la firma operaba como una empresa con doble cotización, por lo que las compañías británicas y holandesas mantenían su existencia legal, pero operaban como una sociedad de una sola unidad para fines comerciales. Shell ingresó por primera vez en la industria química en 1929. En 1970, Shell adquirió la compañía minera Billiton, que posteriormente vendió en 1994 y ahora forma parte de BHP Billiton. En las últimas décadas, la exploración y producción de gas se ha convertido en una parte cada vez más importante del negocio de Shell. Shell adquirió BG Group en 2016, lo que lo convierte en el mayor productor mundial de gas natural licuado (GNL) (ibíd.).

Shell tiene una cotización principal en la Bolsa de Valores de Londres y es un componente del Índice FTSE 100. Tenía una capitalización de mercado de £ 185 mil millones al cierre de las operaciones el 30 de diciembre de 2016, la más grande de todas las compañías que cotizan en la Bolsa de Valores de Londres y una de las más altas de todas las compañías del mundo. Tiene listados secundarios en Euronext Amsterdam y en la Bolsa de Nueva York. A enero de 2013, el mayor accionista de Shell era Capital Research Global Investors con 9.85% por delante de BlackRock en segundo lugar con 6.89% (ibíd.).

## 1.8 Francia y su industria petrolera

Para Francia, la empresa petrolera más importante es representada por Total S.A., la cual es una firma multinacional integrada verticalmente de petróleo y gas. Es una de las siete compañías petroleras más grandes a nivel mundial. Sus actividades van desde la cadena de la exploración y producción de petróleo y gas natural hasta la energía en su generación, el transporte, la refinación, la comercialización de petrolíferos y el comercio internacional de crudo y productos derivados de este. Total, de igual manera fabrica productos químicos a gran escala que comercializa a nivel mundial (total, 2018).

Tiene su oficina central en el Tour Total en el distrito de La Défense en Courbevoie, al oeste de París. La compañía es un componente del índice del mercado de valores Euro Stoxx 50.

La compañía se fundó después de la Primera Guerra Mundial, cuando el entonces presidente francés Raymond Poincaré rechazó la idea de formar una sociedad con Royal Dutch Shell en favor de crear una compañía petrolera completamente francesa. A instancias de Poincaré, el Coronel Ernest Mercier, con el apoyo de noventa bancos y compañías, fundó Total el 28 de marzo de 1924, como Compagnie française des pétroles (CFP), literalmente la "Compañía Petrolera Francesa". El petróleo se consideraba vital en el caso de una nueva guerra con Alemania (ibíd.).

La compañía cambió su nombre a Total CFP en 1985, para aprovechar la popularidad de su marca de gasolina. Más tarde, en 1991, el nombre se cambió a Total, cuando se convirtió en una empresa pública que cotiza en la Bolsa de Nueva York. El gobierno francés, que solía controlar más del 30 por ciento de las acciones de la compañía en 1991, redujo su participación en la firma a menos del 1 por ciento en 1996. En el período comprendido entre 1990 y 1994, la propiedad extranjera de la firma aumentó de 23 por ciento (ibíd.).

Mientras tanto, Total continuó expandiendo su presencia minorista en América del Norte bajo varias marcas. En 1989, Total Petroleum, con sede en Denver, Colorado, la unidad norteamericana de Total CFP, compró 125 locales minoristas de Road Runner a Truman Arnold Companies, con sede en Texarkana, Texas. Para 1993, Total Petroleum operaba 2,600 tiendas minoristas bajo las marcas Vickers, Apco, Road Runner y Total. Ese año, la compañía

comenzó a remodelar y renombrar todas sus tiendas de gasolina y de conveniencia en América del Norte para usar el nombre Total. Solo cuatro años después, Total vendió sus operaciones de refinación y venta al por menor en América del Norte a Ultramar Diamond Shamrock por \$ 400 millones en acciones y \$ 414 millones en deuda asumida (ibíd.).

Después de la adquisición total de Petrofina de Bélgica en 1999, se hizo conocida como Total Fina. Posteriormente también adquirió Elf Aquitania. Primero nombrado TotalFinaElf después de la fusión en 2000, más tarde se le cambió el nombre a Total el 6 de mayo de 2003. Durante ese cambio de marca, se reveló el logotipo del mundo actual (ibíd.).

## **1.9 España y su industria petrolera**

La industria petrolera española Se creó por Real Decreto Ley de 28 de junio de 1927. Su ámbito geográfico era la Península y las Islas Baleares. El objetivo era la creación de una empresa verticalmente integrada, de la exploración a la comercialización. Dado que en aquellos años no existía un sector empresarial público, el Real Decreto Ley preveía la convocatoria de un concurso para la adjudicación de la operación del Monopolio. Entre las obligaciones del adjudicatario figuraban la participación del Estado en el capital y en los beneficios, la construcción de una flota y de refinerías de petróleo. La concesión fue adjudicada a un consorcio de bancos bajo la denominación de CAMPSA: Compañía Arrendataria del Monopolio de Petróleos, por un periodo de 20 años (Repsol, 2018).

En la actualidad la empresa petrolera más importante en España es Repsol, es una empresa de sector petrolero y petroquímico de nivel mundial, su fundación data en octubre de 1987, Barcelona y Madrid de las sedes en donde se ubican sus oficinas centrales. En un inicio, REPSOL se conformó por la agrupación de un conjunto de firmas, que pertenecían al Instituto Nacional de Hidrocarburos, con actividades enfocadas en la exploración, producción, transporte y refinación del crudo. De igual manera, se encarga de producir, distribuir y comercializar productos petrolíferos, gas licuado, gas natural y petroquímicos. En España, es la tercera empresa que emite más contamina con de CO<sub>2</sub> (ibíd.).

## 1.10 Brasil y su industria petrolera

En Brasil la empresa encargada de la extracción, producción, transformación y comercialización del petróleo es PETROBRAS. Es una empresa petrolera de naturaleza semi-pública de propiedad mayoritariamente estatal y con participación extranjera privada. Petrobras opera en forma activa en el mercado internacional de petróleo como así también a través del intercambio de una importante diversidad de productos relacionados con la industria de los hidrocarburos.

Petrobras fue fundada en 1953, por lo que es uno de los NOCs más antiguos del mundo. Formó un eje del impulso de industrialización orientado hacia el interior del Estado Nuevo de la época. Bajo los términos de la Ley No. 2.004, a Petrobras se le otorgaron los derechos exclusivos sobre la exploración y producción de petróleo (E&P) en el interior del país. También llegó a dominar la actividad de refinación doméstica, aunque a las principales petroleras extranjeras se les permitió conservar un papel en el sector de distribución aguas abajo. En la década de 1960, Petrobras se diversificó aún más en petroquímicos, en parte para impulsar el crecimiento de esta nueva industria dinámica en Brasil, en parte para evitar que las multinacionales extranjeras lo dominen (Treat, 1983).

En la década de 1990, en particular bajo el presidente Cardoso, Brasil adoptó el llamado Consenso de Washington en la formulación de políticas económicas y se embarcó en un ambicioso programa de privatización de las empresas estatales y liberalización del mercado (Goldstein 1999). Petrobras ha operado en un entorno competitivo desde 1997, cuando el gobierno desechó su monopolio sobre las actividades relacionadas con el petróleo, liberó los precios del petróleo del control estatal y abrió el sector a la competencia. Completó el proceso en enero de 2002 mediante la abolición de los controles de precios y la eliminación del monopolio de Petrobras en la importación de productos derivados del petróleo. La principal agencia gubernamental encargada de monitorear el sector petrolero es la Agencia Nacional del Petróleo (ANP), que tiene la responsabilidad de emitir licencias de E&P y garantizar el cumplimiento de las regulaciones pertinentes (ibíd.).

La producción de petróleo y gas de Petrobras ha crecido muy rápidamente en los últimos años, tanto en Brasil como en el extranjero. Estos avances recientes son el resultado del

considerable esfuerzo realizado por Petrobras para enfrentar los desafíos de los entornos de aguas profundas y ultra profundas, la producción de petróleo pesado y los reservorios de Alta Presión / Alta Temperatura (HPT) (Pessôa et al. 2006). La relevancia de la tecnología de Petrobras ha tomado una nueva dimensión desde el anuncio de abril de 2006 de que Brasil se ha vuelto autosuficiente en el suministro de petróleo, después de la apertura de una importante plataforma de exploración de aguas ultra profundas en la Cuenca de Campos (ibíd.).

### **1.11 Canadá y su industria petrolera**

La industria petrolera canadiense surgió en paralelo con la de los Estados Unidos. Sin embargo, debido a la singular geografía, geología, recursos y patrones de asentamiento de Canadá, se desarrolló de diferentes maneras. La evolución del sector petrolero ha sido un factor clave en la historia de Canadá y ayuda a ilustrar cómo el país se volvió bastante distinto de su vecino al sur.

Si bien la industria de petróleo y gas convencional en el oeste de Canadá está madura, los recursos petrolíferos en el Ártico y en alta mar se encuentran principalmente en las etapas iniciales de exploración y desarrollo. Canadá se convirtió en un gigante productor de gas natural a fines de la década de 1950 y ocupa el segundo lugar, después de Rusia, en exportaciones; El país también alberga las instalaciones de extracción de líquidos de gas natural más grandes del mundo. La industria comenzó a construir sus vastas redes de oleoductos en la década de 1950, y comenzó a desarrollar los mercados nacionales e internacionales en gran medida (Petróleos América, 2018).

La primera compañía petrolera canadiense, la Compañía Internacional de Minería y Fabricación, fue fundada por Charles Tripp en 1851 cerca de la actual Sarnia, Ontario. La compañía de Tripp buscó crudo de superficie en los pantanos aceitosos de lo que ahora es el suroeste de Ontario. La compañía de Tripp no solo extrajo aceite de los lechos de asfalto; también cavó para manantiales de sal (depósitos subterráneos de agua salada de los cuales se puede extraer sal) y fabricó sus propios combustibles y pinturas a base de aceite. Debido a

que la compañía de Tripp realizó su propia exploración, extracción y refinación de petróleo, se considera la primera compañía petrolera integrada del mundo (ibíd.).

En 1860, la compañía de Williams, que pasó a llamarse Canadian Oil Company ese año, cavó la primera "explosión" del mundo. Una explosión o explosión es una explosión de petróleo crudo similar a un géiser que se produce cuando un pozo de petróleo penetra en un reservorio subterráneo de alta presión. Las explosiones peligrosas, derrochadoras y destructivas se convertirían en un sello de la industria del petróleo y el gas a principios de los años 1800 y principios de los 1900. Desde esa primera ráfaga de toros de 1860, las explosiones se producirían con cierta regularidad hasta que se desarrollaran los dispositivos de prevención de explosiones en la década de 1920 (ibíd.).

## **1.12 Kuwait y su industria petrolera**

La industria petrolera en Kuwait es la industria más grande del país y representa casi la mitad del PIB del país. Kuwait tiene reservas probadas de petróleo crudo de 104 mil millones de barriles (15 km<sup>3</sup>), que se estima en el 9% de las reservas mundiales. Las reservas de petróleo de Kuwait son las cuartas más grandes del mundo y Burgan Field es el segundo campo petrolero más grande. Kuwait es el undécimo productor mundial de petróleo y el séptimo mayor exportador. La producción de petróleo de Kuwait representa el 7% de la producción mundial de petróleo (CIA, 2017).

El gobierno de Kuwait es dueño de la industria petrolera, controla gran parte de la economía del país; en total, alrededor del 43% del PIB. Las exportaciones de petróleo de Kuwait varían según las necesidades internas (casi toda la energía de Kuwait se deriva del petróleo) y de la demanda internacional y los precios y las cuotas de producción fijadas por la OPEP, de la cual Kuwait es miembro. Sin embargo, las cuotas de la OPEP son difíciles de aplicar, y Kuwait y otros países han sido acusados de violarlas (ídem).

La empresa paraestatal encargada de la industria petrolera en Kuwait es Kuwait National Petroleum Company (KNPC) fundada en 1960, fue la primera compañía nacional en la región que gestionó y explotó sus recursos de hidrocarburos por compañías extranjeras. La visión

de la compañía fue estimular el desarrollo y proporcionar una experiencia ejemplar en el manejo de los recursos nacionales. En su perspectiva, KNPC fue un modelo para el potencial indígena para emprender la gestión y explotación de los recursos petroleros, que comenzó a convertirse en una fuente de suma importancia de ingresos capaz de mantener el bienestar de la sociedad y financiar su desarrollo general (KNPC, 2019).

En 1975, el Estado de Kuwait adquirió la plena propiedad de KNPC. Sus operaciones estaban altamente integradas principalmente confiando en su refinería de petróleo en Shuaiba y la comercialización de productos derivados del petróleo de la Refinería Al-Ahmadi, tanto en el mercado local como internacional (ídem).

Actualmente, KNPC está llevando a cabo varios proyectos importantes que apuntan a expandir su capacidad de refinación y mejorar las capacidades de conversión, lo más importante es el Proyecto de Combustibles Limpios (CFP). De igual manera, la Compañía dirige la atención a sus recursos humanos mediante la implementación de una política de crecimiento constante de su mano de obra nacional y proporcionando a sus sitios recursos humanos altamente calificados (ídem).

### **1.13 Venezuela y su industria petrolera**

La industria petrolera de Venezuela fue nacionalizada en la década de 1970, dando lugar a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), la compañía estatal de petróleo y gas natural del país. PDVSA es la empresa que más empleos genera en su país, genera una aportación significativa al producto interno bruto (PIB), los ingresos del gobierno y los ingresos de exportación. En la década de los 90's, Venezuela aplicó medidas donde liberalizó su industria petrolera. Sin embargo, al convertirse Hugo Chávez presidente en 1999, se aumentó la participación pública en dicha industria. En un inicio, Hugo Chávez incrementó las tasas de impuestos y regalías para los proyectos nuevos y existentes, de igual manera, ordenó la propiedad mayoritaria de PDVSA de todos los proyectos petroleros (EIA, 2019).

Dentro de las actividades más importantes de PDVSA están planificar, coordinar, supervisar y controlar las actividades de sus empresas tanto en Venezuela como en otros países; de igual

manera, sus actividades incluyen también, la promoción o participación en aquellas dirigidas a incentivar el desarrollo integral, orgánico y sostenible del país, incluyendo las de carácter agrícola e industrial, transformación de bienes y su comercialización, y prestación de servicios, para alcanzar una correcta relación de los recursos derivados de los hidrocarburos con el fortalecimiento económico del país (PDVSA, 2019).

PDVSA centra sus bases fundamentalmente en los siguientes acuerdos impartidos por el accionista (ídem):

- Generar valor a nuestro recurso natural de hidrocarburos en beneficio de la nación.
- Posicionar geopolíticamente al país en el ámbito internacional, con propósitos claves de la política exterior venezolana, como el fomento la cooperación integral con aliados estratégicos y la integración latinoamericana en un contexto de transición hacia la multipolaridad.
- Favorecer el crecimiento endógeno del país, fomentando el desarrollo socio-económico, a través de la industrialización y políticas de equidad social.

### **1.14 Kazajistán y su industria petrolera**

La Compañía Nacional "KazMunayGas" es el operador nacional de Kazajstán para la exploración, producción, refinación y transporte de hidrocarburos, representando al estado en el sector petrolero de Kazajstán.

El Grupo de JSC "Compañía Nacional" KazMunayGas ", fundada en 2002, incluye más de 180 entidades. La parte fundadora de KMG es el Gobierno de la República de Kazajstán, representado por el Comité Estatal de Propiedad y Privatización del Ministerio de Finanzas de la República de Kazajstán. Los accionistas de KMG son Samruk-Kazyna Sovereign Wealth Fund (90%) y el Banco Nacional de la República de Kazajstán (10% + 1 acción) (KazMunayGas, 2019).

La Compañía Nacional representa el 25% de la producción de petróleo crudo y gas condensado, así como el 15% de la producción de gas natural y asociado a nivel nacional.

Sus líneas troncales se utilizan para transportar el 56% del petróleo de Kazajstán y el 79% del gas (ídem).

En 2018, JSC NC "KazMunayGas" produjo 23,6 millones de toneladas de petróleo y 8,3 millones de metros cúbicos de gas condensado. La cartera de proyectos de exploración geológica de KMG consta de 23 proyectos (liderados de forma conjunta e independiente), de los cuales 14 se están implementando en tierra, y 9 - Offshore: como empresa nacional, KazMunayGas tiene el derecho de uso preventivo del subsuelo para sitios estratégicos del subsuelo y recibe un interés participativo del 50% en caso de que se ejecuten nuevos contratos para el desarrollo de campos offshore (ídem).

JSC NC "KazMunayGas" se encuentra entre los empleadores más grandes de la región, con un número de empleados de más de 80,000 (ídem).

SC NC "KazMunayGas", al ser una compañía nacional integrada de petróleo y gas, está centrando sus esfuerzos en un mayor desarrollo de la industria petrolera de la República de Kazajstán. La misión de la Compañía radica en maximizar las ganancias de los accionistas de la participación en el desarrollo de la industria petrolera nacional y su es convertirse en una empresa operativa integrada verticalmente altamente eficiente, que cumpla con los más altos estándares de seguridad y gobierno corporativo (ídem).

### **1.15 Emiratos Árabes Unidos y su industria petrolera**

Desde que se independizó del Reino Unido en 1971, los Emiratos Árabes Unidos, una federación de los siete emiratos de Abu Dhabi, Ajman, Al Fujairah, Dubai, Ras al Khaymah, Sharjah y Umm al Qaywayn, han confiado en sus grandes recursos de petróleo y gas natural para apoyar su economía. Actualmente, los Emiratos Árabes Unidos son el séptimo mayor productor de petróleo del mundo, y se proyecta que los ingresos por exportaciones de hidrocarburos representarán \$ 65 mil millones en 2017, aproximadamente el 20% de todos los ingresos por exportaciones. La participación de los ingresos por exportaciones de hidrocarburos, que ascendió a \$ 129 mil millones (35% de los ingresos totales de exportación), ha disminuido desde 2013 según el Fondo Monetario Internacional (FMI) como

resultado de la disminución de los precios del petróleo. Sin embargo, el petróleo y la producción de otros líquidos derivados del petróleo ha crecido durante el mismo período (EIA-UAE, 2019).

Emirates National Oil Company Limited (ENOC) L.L.C. empresa responsable de la producción, transformación y comercialización de crudo y sus derivados en los Emiratos Árabes Unidos, es un actor global líder integrado en petróleo y gas que opera en toda la cadena de valor del sector energético. Una empresa de propiedad total del Gobierno de Dubai, ENOC se estableció inicialmente en 1993 (ENOC, 2019).

Desde su formación, han realizado importantes contribuciones al impulso continuo de Dubai hacia la diversificación económica y el desarrollo sostenible. El Grupo ENOC comprende más de 30 subsidiarias relacionadas involucradas en refinación, mezcla de lubricantes, almacenamiento, aviación y venta minorista (ídem).

Prestamos servicios a miles de clientes en 60 mercados, emplean una fuerza laboral de más de 9,000 empleados y están implementando su servicio al cliente de clase mundial, las últimas innovaciones y tecnologías y las mejores prácticas para el desarrollo social y económico de los EAU (ídem).

### **1.15 Argelia y su industria petrolera**

SONATRACH es la compañía petrolera estatal de Argelia. Fundada en 1963, hoy es conocida por ser la compañía más grande de África con 154 filiales, y a menudo se la conoce como la primera "gran" petrolera africana.

Durante más de 50 años, SONATRACH ha desempeñado su papel completo en la conducción de la economía nacional. Su misión es mejorar las grandes reservas de hidrocarburos de Argelia. Este jugador importante en la industria petrolera, apodado el mayor africano, saca su fuerza de su capacidad de ser un grupo totalmente integrado en toda la cadena de valor de los hidrocarburos (SONATRACH, 2019).

Sonatrach es el duodécimo consorcio petrolero más grande del mundo, con 154 filiales que operan en toda la cadena de valor del petróleo, desde las actividades ascendentes, intermedias y descendentes (ídem.).

En Upstream, el área de exploración y producción SONATRACH opera, en su propio esfuerzo o en asociación con compañías petroleras extranjeras, cuentan con pozos petroleros entre los más importantes del mundo en diferentes regiones del Sahara argelino: Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Hassi Berkine, Ourhoud, Tin Fouyé Tabankort, Rhourde Nous, En Salah y En Amenas. En el área de Transformación industrial, SONATRACH tiene seis refinerías que operan en el territorio y dos complejos petroquímicos, cuatro complejos de licuefacción de GNL y dos complejos de separación de GLP (ídem).

# CAPÍTULO 2

## ORIGEN, DESARROLLO Y ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN MÉXICO

---

En el presente capítulo se realiza un análisis de la industria petrolera en México, desde sus orígenes, pasando por todo el proceso evolutivo desde el descubrimiento del primer pozo petrolero, la expropiación petrolera, descubrimientos de los yacimientos más importantes hasta la conformación de PEMEX desde sus inicios hasta como se le conoce al día de hoy.

### **2.1.-La industria del petróleo en México. Evolución histórica**

La historia de la industria petrolera en México inicia aproximadamente desde la aparición de los primeros vehículos creados por Henry Ford en 1903 (Brinkley, 2003), mediante la línea “T”. El petróleo se ha establecido como el bien más importante en todo el planeta, debido a que, gracias a este, se ha podido sostener la forma de funcionar de un mundo el cual depende del desplazamiento de automóviles que, como es conocido, su fuente de energía principal es la gasolina, la cual es un derivado del petróleo.

Para México, el petróleo ha jugado un papel determinante en el desarrollo de su economía a través de los años, sus finanzas públicas, el desarrollo y crecimiento de la industria, desarrollo tecnológico, balanza comercial, relación con el exterior etc. De acuerdo con Gil (2008), el petróleo se ha convertido en un bien clave para la consolidación de México como un estado-nación, así como de igual manera, un país con economía emergente y con un desarrollo de nivel medio, esto a partir desde las primeras décadas del siglo XX.

El petróleo se ha convertido en la principal fuente de energía, y es la materia prima más importante motivo por el cual el comercio ha evolucionado en muchos países REPSOL (2002). En el sector primario son fundamental para el funcionamiento de maquinaria como sistemas de los sistemas de riego, funcionamiento de los tractores y para la creación de fertilizantes agrícolas. A partir de los derivados del petrolero se obtienen una variedad inmensa de productos que van desde el producir plástico para todo tipo de productos, algunos cosméticos, detergentes, la ropa de nylon entre otras muchas cosas.

Para tener una idea más clara de cómo se ha desarrollado la industria petrolera en México a través del tiempo, se tiene a continuación, un recuento de los años y sucesos más importantes dentro de esta industria en territorio mexicano.

- **1933 – PETROMEX**

En este año, la compañía mexicana de petróleo “El Águila” realiza un importante descubrimiento de los yacimientos de Poza Rica y Veracruz, volviéndose una zona de gran potencial de extracción. Para poder llevar a cabo la extracción de dicho crudo, se propuso el plan de una empresa petrolera nacional, la cual da origen al nacimiento de la Compañía Petróleos de México, S.A. (PETROMEX), siendo una organización con participación del gobierno y de inversionistas particulares (Industria petrolera, 2012).

- **1936 – Creación Sindicato de Trabajadores Petroleros de la República Mexicana**

1936 es un año clave para la industria petrolera mexicana, así como para todos sus trabajadores, ya que en este año se fundó el Sindicato de Trabajadores Petroleros de la República Mexicana (STPRM), dando la primera instrucción de crear un proyecto de contrato que sustituyera a los distintos contratos colectivos que establecían las relaciones laborales en cada una de las organizaciones (Olvera, 1989).

- **1938 – Expropiación petrolera**

Al iniciar la Primera Guerra Mundial, México representaba el tercer productor a nivel mundial y hacia 1921 suplía el 20% de la demanda global del crudo. En 1938 siendo el presidente Lázaro Cárdenas del Río, se nacionalizó este recurso, uno de los principales motivos fueron los descubrimientos de campos petroleros más eficientes, económicos y de fácil acceso en el sur de Estados Unidos y Venezuela (Puyana, 2009).

Uno de los motivos principales que favoreció a México para que se llevara a cabo la expropiación petrolera, fue, que la desestabilización del régimen de Lázaro Cárdenas por parte del gobierno de los Estados Unidos hubiera llevado a peligros mayores para estos, en el sentido de que probablemente México recurriría a Alemania o Italia. Ambos países a su vez, estaban disponibles a ayudar a México financiera y comercialmente, cosa que amedrentaba a Estados Unidos para declarar un estricto embargo, un cerco comercial o financiero, o una acción de presión mayor de tipo militar a como lo deseaban algunos voceros de las compañías petroleras particulares que estaban establecidas en México (Benítez, 1972).

- **1940 – Empresa verticalmente integrada**

PEMEX en 1940, se reestructura como una sola unidad la cual se hace responsable de toda la industria petrolera mexicana, partiendo desde las actividades de exploración hasta la venta final a los consumidores. En este mismo año, las reservas nacionales de crudo descendieron de 1,270 millones de barriles por día a 1,225 millones de barriles por día. Para luchar contra el problema de desabasto, se destinaron grandes cantidades de petróleo a la refinación en el extranjero, así como también concluyó la construcción de la refinería de Poza Rica (COLMEX, 2018).

- **1942 – Indemnizaciones**

El presidente en turno Ávila Camacho, a través de un informe oficial, comunicó que el monto total de la indemnización de los bienes expropiados a compañías petroleras realizado por Lázaro Cárdenas era de 23,995,991 dólares americanos (PEMEX, 2018).

- **1944 – Caída de la producción petrolera**

El desequilibrio entre oferta y demanda, así como la caída en la producción de crudo que existió en este año, convirtió a México en un importador neto de bienes derivados del petróleo tales como grasas, gasolina, diesel y aceites de tipo lubricantes. El gobierno de Estados Unidos, por medio del Eximbank, realizó de igual manera un préstamo a México de 10 millones de dólares que fueron aplicados a la modernización de la refinería de Azcapotzalco y a la generación de gasolinas de alto octanaje destinados a la industria de la aviación (COLMEX 2018).

- **1946 – Refinería “18 de marzo”**

En este año, PEMEX identifica en Reynosa, Tamaulipas, importantes yacimientos de petróleo y gas. De igual manera se inauguraron las instalaciones de la refinería de Azcapotzalco, la cual fue llamada como la refinería “18 de marzo” con capacidad para procesar 50 mil barriles diarios de crudo. En este mismo año se aplicó una reforma en la estructura corporativa original de PEMEX decretando como principales responsables al Director General y tres subdirectores, cada uno a cargo de la producción, la comercialización y la administración junto con los asuntos jurídicos (Ídem).

- **1948 – Aceite y gas en el noreste**

En el presente año, se descubrió el campo “Francisco Cano”, el cual producía aceite en la zona de “Frontera Noreste”, comprendía parte del estado de Tamaulipas y el estado de Nuevo

León. Las áreas productoras se dividieron entonces en tres zonas o provincias geológicas: La zona noreste de México, la cuenca de Tampico y la región del Istmo (incluyendo Tabasco y Chiapas) (Guzmán y Mina, 1951).

- **1950 - Refinería "Ing. Antonio Manuel Amor"**

En este año se construyeron dos refinerías, una en Reynosa y otra en Salamanca las cuales complementaron a la refinería "18 de marzo". Debido a esto, PEMEX logra incrementar el volumen de destilación primaria total en 315% y la producción con "base en la desintegración catalítica" en 369% en los años 1938 a 1958 (COLMEX, 2018).

- **1951 – Nuevos descubrimientos en el sureste del país**

En 1952 se descubrió uno de los más importantes yacimientos de gas y crudo líquido, el cual se le llamó "José Colomo", en Macuspana, Tabasco (PEMEX, 2018).

- **1952 – Crece "la faja de oro"**

Se realiza la ampliación de la construcción de la "Faja de Oro", perforando pozos como Tenixtepec No. 2 y otros campos de producción petrolera como Tamiahua, Poza de Cuero, Tulillo, Concepción, mexicano, Monte Solís, arroyo Blanco y Coatzintla (ídem).

- **1955 – Aumento de la refinación por crecimiento en infraestructura**

En este año, la planta de lubricantes ubicada en Salamanca, Gto. es inaugurada, de igual manera se proyecta la ampliación en la refinería "18 de marzo", la cual duplica la producción de PEMEX a 100 mil barriles al día aproximadamente (ídem).

- **1956 – Inauguración de la refinería “Gral. Lázaro Cárdenas del Río”**

La Refinería General Lázaro Cárdenas del Río en Minatitlán, Veracruz, fue inaugurada un 22 de febrero de 1956, Su capacidad de refinación era de 50 mil barriles al día, de igual manera contaba con la única planta de desintegración catalítica en el país (ídem).

- **1962 – Operación sin pérdidas**

La revista estadounidense Time publica que 1962 es el primer año en el que PEMEX realizó sus actividades sin pérdidas, al mismo tiempo bajó la importación de crudo y otros derivados del petróleo.

- **1965 – Instituto Mexicano del Petróleo**

El 23 de agosto se crea el Instituto Mexicano del Petróleo, centro público de investigación, surgiendo como parte de los esfuerzos en la integración vertical de la industria petrolera, cuya orientación estratégica es generar investigación científica básica y aplicada, realizar desarrollo tecnológico de gran nivel, ofrecer servicios de alto contenido tecnológico, así como capacitar y formar recursos humanos que impulsen el desarrollo de tecnología propia (PEMEX, 2018).

- **1971 – Cantarell**

En 1971 un pescador de Campeche, de nombre Rudecindo Cantarell Jiménez, tomó muestras de petróleo que emanaba en la Sonda de Campeche y de inmediato Pemex envió personal para hacer estudios, los resultados arrojaron lo que sería el yacimiento de petróleo más importante del país, y en su momento uno de los más grandes del mundo, con unas reservas de 40 mil millones de barriles de crudo (ídem).

- **1976 – Refinería “Miguel Hidalgo”**

En este año se inauguró la refinería Miguel Hidalgo, la cual fue construida en terrenos de los municipios de Tula y Atitalaquia en el estado de Hidalgo, con capacidad para procesar 150 mil barriles diarios. Al mismo tiempo se amplió la capacidad para la refinación de los complejos ya existentes (ídem).

- **1979 – Refinerías “Ing. Héctor R. Lara Sosa” e “Ing. Antonio Dovalí Jaime”**

En 1979 se inauguran dos refinerías, una fue la Refinería "Ing. Antonio Dovalí Jaime" en Salina Cruz, Oaxaca. con una capacidad de refinación de 165,000 barriles diarios. refinería "Ing. Héctor R. Lara Sosa" se inauguró en Cadereyta, Nuevo León contando con una capacidad de 100,000 barriles al día refinados(ídem).

- **1983 – 1985 Acuerdo de Londres**

En este año toda la infraestructura existente hasta el momento estaba conectada por una red de ductos de 42 mil 213 kilómetros, compuesta de la siguiente manera: 52%, gasoductos; 28%, oleoductos 13%, poliductos y 6%, ductos petroquímicos. En el mismo periodo, la OPEP y los principales productores de petróleo no agrupados, establecieron bajo el “Acuerdo de Londres” reducir el precio del crudo de referencia, en 15% (ídem).

- **1986 – Declive de la producción petrolera**

Para 1986, el volumen anual de crudo exportado descendió a 470 millones de barriles, una reducción de 12.5% con respecto a 1983, año en que Pemex había alcanzado el nivel de exportaciones más alto hasta entonces. Las 23 plataformas marinas instaladas en Cantarell producían el 64% del total (Ídem).

Hasta este momento de la historia de la industria petrolera mexicana, se puede decir que PEMEX estaba pasando de ser una empresa pionera a su etapa madura como empresa de talla

internacional generando y aportando gran cantidad de beneficios al país tanto en su desarrollo como en su crecimiento económico.

A partir de la siguiente etapa, se podrá analizar a PEMEX como una empresa de talla internacional y de gran influencia en el mercado, así como siendo el referente y punto de lanza de la economía de México.

## **2.2.-Estructura de México en el contexto petrolero moderno**

La empresa paraestatal responsable del sector petrolero en México como se sabe es Petróleos Mexicanos (PEMEX). Ha sido la encargada atender todo el encadenamiento productivo que tiene esta industria, desde la extracción del crudo y gases hasta la transformación de productos finales como es el caso de gasolinas, aceites, plásticos, químicos etc. PEMEX es la empresa más grande e importante de México, es un referente internacional en materia de hidrocarburos. Las actividades que esta realiza involucran toda la cadena productiva, desde la exploración. Producción, transformación industrial, logística y comercialización (PEMEX, 2017).

A finales de la década de los 80s PEMEX empezó a tomar mayor relevancia en el comercio con los demás países, por lo que acontecieron situaciones importantes las cuales modificaron la forma de operar y de trabajar en la industria petrolera, estas situaciones se mencionan a continuación:

- **1989 – PMI Comercio internacional**

En 1989 PEMEX crea la empresa filial Petróleos Mexicanos Internacional Comercio Internacional, S. A. de C. V. (PMI), con el objetivo de establecer un marco organizacional moderno y eficiente para la realización de las actividades comerciales internacionales y derivar de éstas el mayor beneficio económico posible. Al principio PMI se encargó únicamente de las exportaciones de petróleo crudo, pero posteriormente sus operaciones

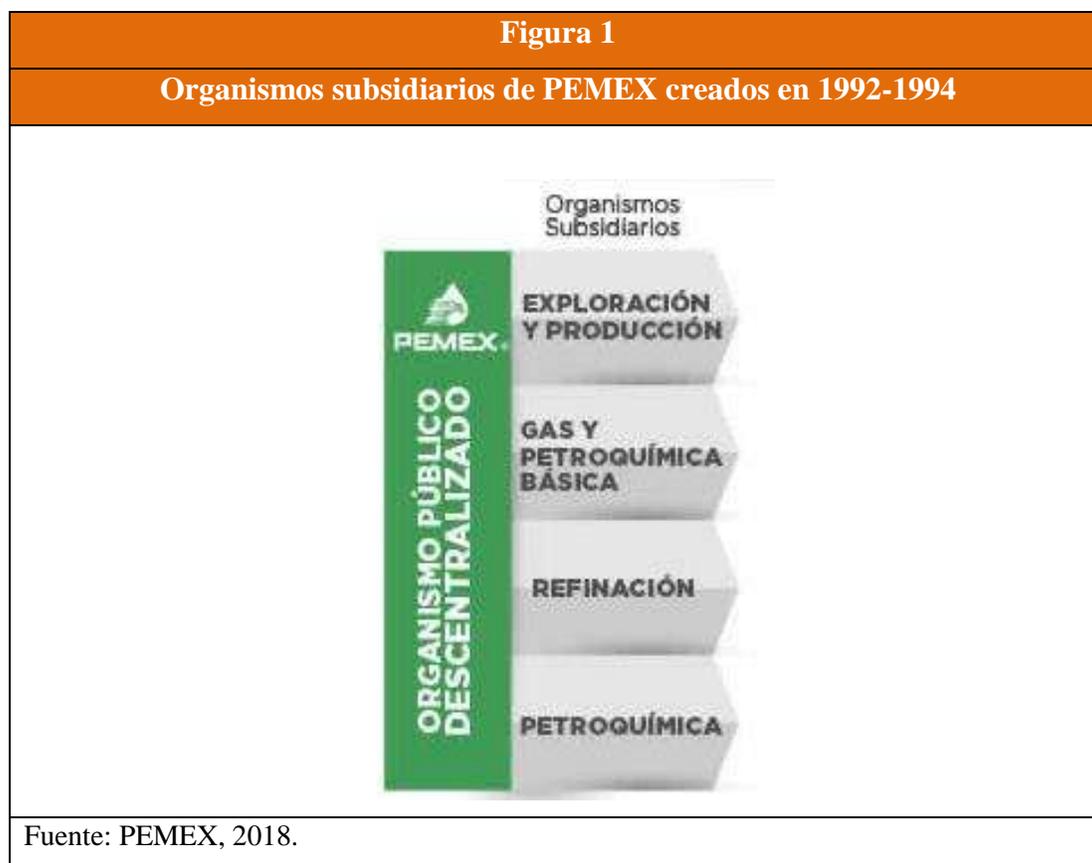
abarcarían también el comercio internacional de productos petrolíferos y petroquímicos (COLMEX, 2018).

En la actualidad PMI Comercio Internacional realiza actividades comerciales en el mercado internacional de petróleo crudo, teniendo operaciones en más de 20 países (PMI, 2018). Entre sus actividades principales, se encuentra también la de generar alianzas con otros participantes de la industria.

PMI cuenta con una amplia experiencia a nivel internacional que le ha permitido crear sinergias con las principales empresas de hidrocarburos en el mundo, así como generar lazos comerciales a largo plazo.

- **1992 -1994 Petróleos mexicanos y sus organismos subsidiarios**

Durante el periodo de 1992 a 1994 el ejecutivo decreta una nueva Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y por lo tanto PEMEX experimentaría una transformación corporativa de gran importancia. En ella se dispone la creación de cuatro organismos subsidiarios descentralizados y se establecen los lineamientos básicos para definir las atribuciones de Petróleos Mexicanos en su carácter de órgano descentralizado de la Administración Pública Federal, responsable de la conducción de la industria petrolera nacional. La Ley determina la creación de un órgano Corporativo y cuatro Organismos Subsidiarios, que es la estructura orgánica bajo la cual operaría PEMEX. Dichos Organismos serían: PEMEX Exploración y Producción (PEP), PEMEX Refinación (PXR), PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB) y PEMEX Petroquímica (PPQ) (Véase figura 1).



- **1992 – Franquicias PEMEX**

Inicia el sistema de Franquicias Pemex liberalizando este negocio e incrementando el número de gasolineras a lo largo de todo el territorio nacional (PEMEX, 2018).

- **2001 – 2004 Proyecto Burgos y déficit fiscal**

En este año Inicia el proyecto Burgos, en el norte del país, para incrementar la producción de gas natural (PEMEX, 2018). De igual manera y pese al aumento en la producción y las exportaciones petroleras, el gobierno destina el grueso de los recursos de PEMEX para pagar los déficits de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la cual fracasó en llevar a cabo una reforma fiscal y acentuó su dependencia de los ingresos petroleros hasta alcanzar más del 30% del total de los ingresos federales. Como consecuencia, PEMEX no dispuso de fondos suficientes para una modernización integral ni para los costosos gastos de exploración de nuevos campos con potencial de desarrollo (COLMEX, 2018).

- **2005 – En busca de recursos**

El Congreso de la Unión autoriza un nuevo régimen fiscal para la empresa, con el propósito de liberar recursos adicionales para invertir en una escala mayor en la exploración y desarrollo de nuevos yacimientos de petróleo crudo y gas natural.

- **2005 – Nuevos proyectos**

PEMEX intensifica sus actividades petroleras en Chicontepec, el complejo Ku-Maloob Zaap y en aguas profundas del Golfo de México, con la finalidad de ampliar la producción petrolera de la empresa y restituir las reservas de hidrocarburos ante la caída de la producción de Cantarell.

- **2007 – El señor del mar**

En 2007, en el complejo Ku-Maloob-Zaap entra en operación la Unidad Flotante de Producción, Almacenamiento y Descarga (FSPO) “Señor del Mar”, con capacidad de almacenamiento de 2 millones 200 mil barriles de crudo. Esta embarcación permite también la mezcla de crudos para obtener un mayor valor económico en la venta internacional.

- **2010 – Contratos integrales**

Ante el agotamiento de los campos de hidrocarburos más productivos, principalmente Cantarell, se ponen en marcha los llamados Contratos Integrales que permitan crear alianzas con otras empresas en campos maduros, Chicontepec y aguas profundas del Golfo de México.

- **2012 – Plataforma bicentenario**

En 2012 inicia operaciones la plataforma bicentenario, tras una inversión de 10 mil millones de pesos. Es una plataforma de sexta generación y totalmente ecológica, con capacidad de

perforación de 10 mil metros de profundidad sobre la superficie del mar y a más de 6 mil metros de profundidad debajo del lecho marino.

- **2013 – Reforma energética**

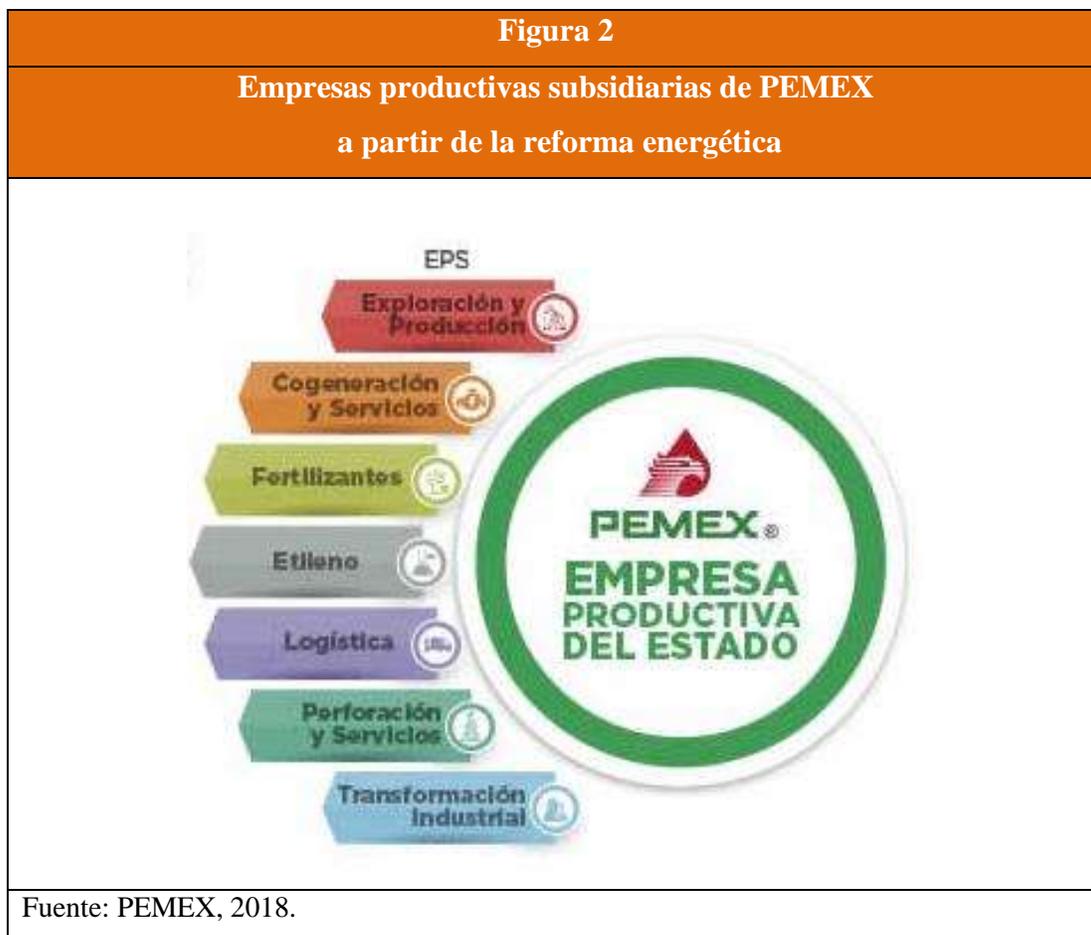
El Presidente de la Republica Enrique Peña Nieto promulga la reforma energética que busca incrementar la producción petrolera del país y sus reservas, manteniendo la propiedad de la Nación sobre los hidrocarburos, Pemex se mantiene como una empresa productiva del Estado y se amplía el marco regulatorio del sector energético.

- **2015 – gasoducto del corredor interoceánico**

Inicia operaciones la primera etapa del nuevo gasoducto del Corredor Interoceánico de la terminal Pajaritos en Coatzacoalcos, Veracruz, a Salina Cruz, Oaxaca.

- **2015 – Reorganización de PEMEX**

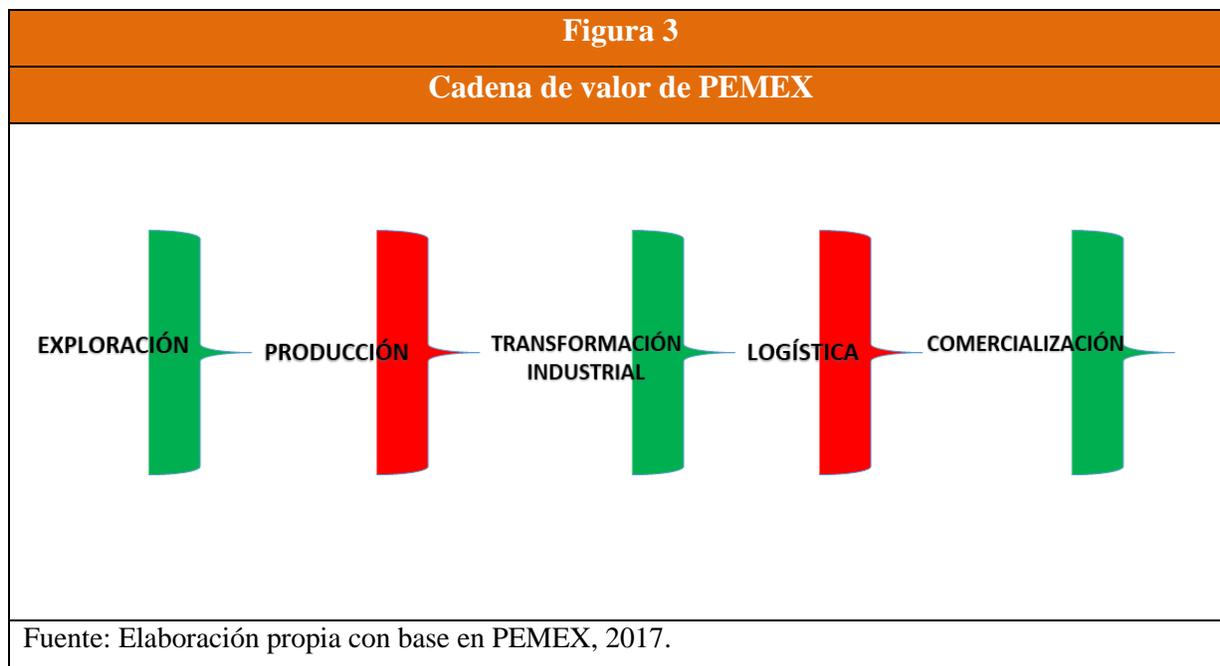
Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el nuevo estatuto orgánico de Petróleos Mexicanos, así como los acuerdos de creación de las siete empresas productivas subsidiarias (EPS), las cuales son: exploración y producción, cogeneración y servicios, fertilizantes, etileno, logística, perforación y servicios y transformación industrial (véase figura 2), el cual tiene por objeto establecer la estructura, organización básica y las funciones de las distintas áreas que integran a Pemex.



La cadena de valor de PEMEX por lo tanto juega un papel de suma importancia para el desempeño y eficiencia de la industria, esta está compuesta de la siguiente manera:

- Exploración
- Producción
- Transformación industrial
- Logística
- Comercialización

En la figura 3 se observa la característica y distribución que tiene la cadena de valor de PEMEX.



PEMEX también juega un papel importante en cuanto a sustentabilidad se refiere, comprometiéndose con el mejoramiento del medio ambiente. Durante el 2015 PEMEX (2017) participó de la siguiente manera:

- 6.3% en reducciones de emisión de gases de efecto invernadero.
- Canalizó más de 3mil millones de pesos a proyectos de inversión social.
- Desplegó más de 100mil acciones de promoción de la salud a través de la operación de la Unidad Médica Móvil.

La industria petrolera actualmente atraviesa un periodo de crisis en todos los países productores de hidrocarburos, debido a los irreversibles cambios en los proyectos de extracción y a la oferta desleal en su comercialización, lo cual está desafiando a la industria petrolera mundial, y la consecuencia es la caída del precio del crudo (Industria+Energía, 2017).

Aunado a la crisis petrolera a nivel mundial, Lajous (2008) menciona que la industria petrolera mexicana se enfrenta a una coyuntura crítica, esto debido a que en México terminó ya la fase expansiva del ciclo de producción de petróleo crudo iniciada en 1996 aunado con una baja del precio del petróleo a nivel internacional. El desempeño inadecuado de PEMEX

menciona también Lajous, está directamente vinculado a la estructura y los procesos de gobierno de la industria petrolera. Los principales problemas que hoy enfrenta, así como su principal reto, se refieren a la arquitectura misma de la industria.

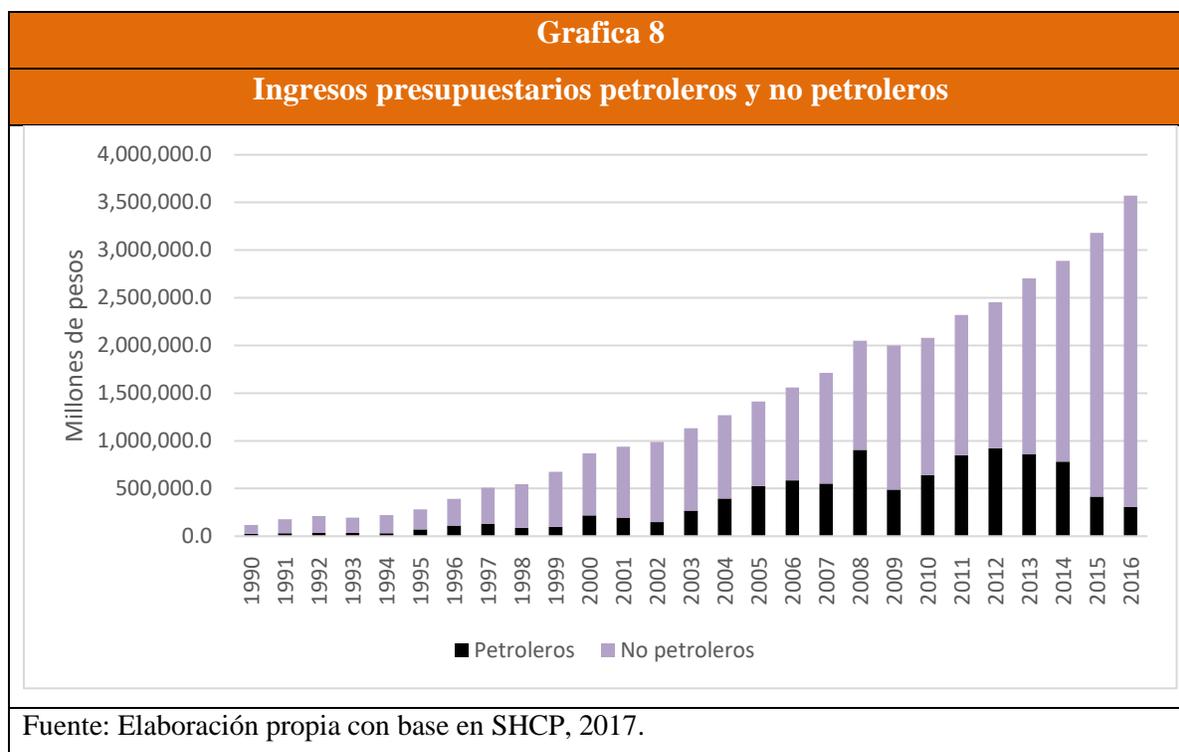
Otro de los problemas que ha tenido la industria petrolera mexicana, aunado con la volatilidad de los precios internacionales del petróleo ha sido que su renta económica ha sido golpeada en proporciones importantes dañando a la industria petrolera nacional cuando más se necesitaba, a fuerza de imponerle gravámenes fiscales excesivos, de interferencias burocráticas paralizantes y de influencias políticas conducentes a la corrupción (Aguilera et al, 2014).

La importancia de la actividad petrolera en México no está en discusión, pero, su relación con el desarrollo social requiere de reflexión; los recursos son, curiosamente, indispensables en la aplicación del gasto social (Priego, Cano y Olivera, 2017).

México es, de acuerdo con Vidal (2008), uno de los pocos países que cuenta con yacimientos de hidrocarburos suficientes para cubrir las necesidades de la economía del país. En México, del total de la energía que se consume en todo el país, el 88% proviene de los hidrocarburos (INEGI, 2018).

Históricamente los ingresos petroleros han sido una base fundamental para el crecimiento y desarrollo económico del país con importantes aportaciones al Producto Interno Bruto (PIB).

En la gráfica 8 se muestra la evolución que ha tenido la aportación por parte de los ingresos petroleros al ingreso presupuestario mexicano y la importancia que ese tiene:



Como se observa en la gráfica 8, los ingresos petroleros han jugado un papel muy importante para la economía de México. En la actualidad los ingresos petroleros han caído debido a los problemas de producción y precios petroleros a nivel mundial entre otros factores. Para 2016 los ingresos petroleros fueron de 308,141.6 millones de pesos, lo cual representa un 17% de aportación al PIB.

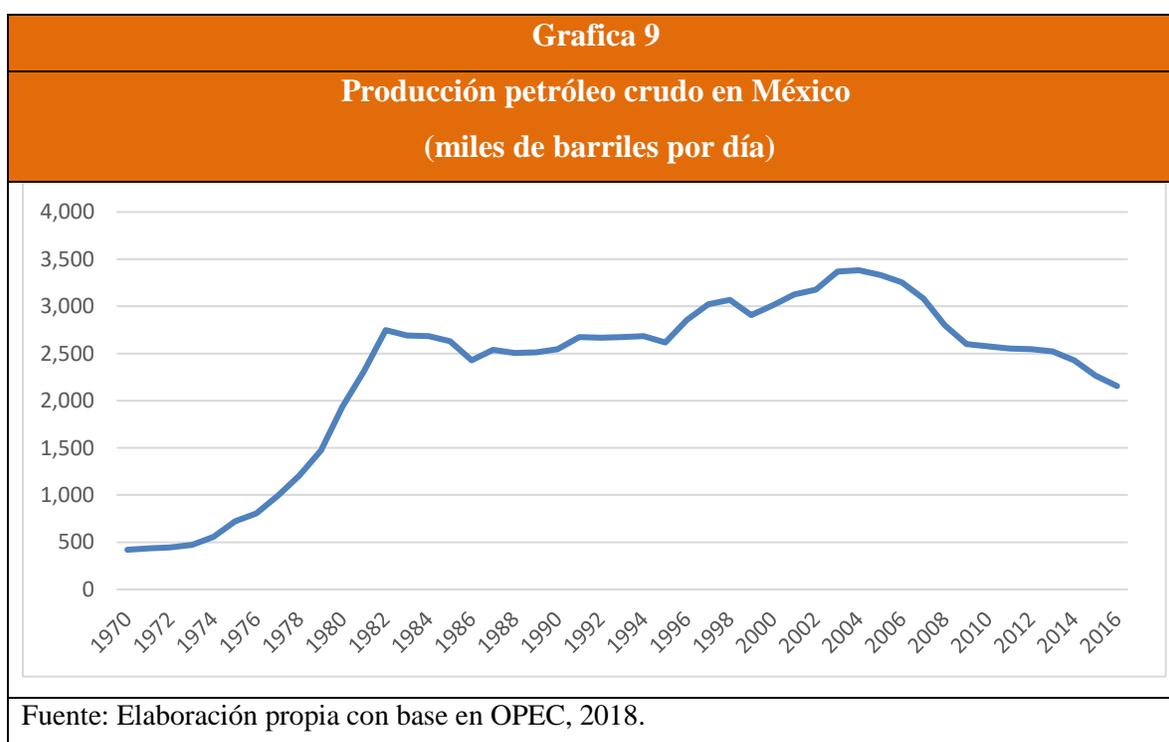
A pesar de la caída que tiene la industria petrolera en cuanto a los precios se refiere tanto nacional como a nivel mundial, sería muy difícil imaginarse un mundo sin este insumo, ya que ha formado parte de nuestro día a día, como fuente de energía y como base de diversos productos que se utilizan de manera diaria, como, por ejemplo: plásticos, las gasolinas, gas, envases, textiles, diésel, etc. (Industria petrolera, 2012).

Petróleos Mexicanos como anteriormente se menciona, representa la mayor firma de México, es la empresa que más contribuye del país, así como también es una de las empresas más grandes en América Latina (PEMEX, 2017).

En contexto y de acuerdo con cifras de PEMEX (2017) se tiene que:

- En el 2017 fue el 18vo país en reservas probadas de crudo.
- En el 2017 fue el 40vo país en reservas probadas de gas natural.
- En el 2017 fue el 12vo productor de crudo en el mundo.
- En el 2016 fue el 13vo país en producción de gas natural.
- En el 2015 fue el 14vo país en capacidad de destilación primaria.

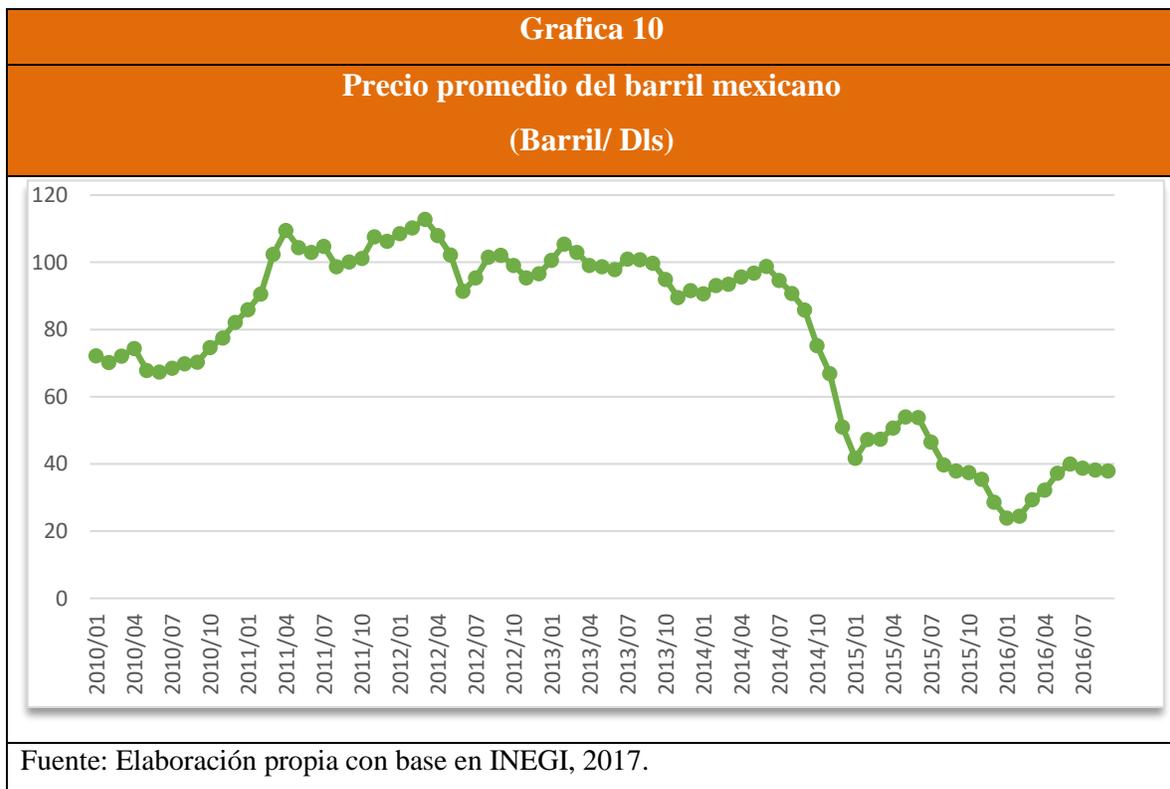
Dentro de los principales problemas de eficiencia y productividad que se pueden apreciar en la industria petrolera en México, está el hecho de que la producción de petróleo crudo ha tenido una caída desde el año 2005 extendiéndose hasta 2016 (véase gráfica 9), esto a pesar de que México cuenta con reservas importantes de crudo.



Como se puede observar en la gráfica 9, la producción de petróleo crudo en México empezó a tener una caída considerable a partir de mediados del año 2014 teniendo una producción en junio de 2.43 millones de barriles por día y para septiembre del 2016 la caída en la producción había sido de 2.11 millones barriles por día. El subsector responsable de ésta área en PEMEX es el área de extracción y producción.

La presente caída de la producción del crudo va muy relacionada con la entrada en vigor de la reforma energética, esto debido al fracaso de las licitaciones llevadas a cabo para la extracción de crudo en aguas profundas debido a diversos factores como lo son el bajo precio del petróleo, desconocimiento por parte de los participantes en la licitación del número mínimo de captación de ingreso por parte de SHCP por cada campo de extracción (Pérez y González, 2015).

A continuación, se muestra la gráfica 10, en la cual se puede observar cómo se han comportado los precios del petróleo:



Como se puede observar en la gráfica 10, el precio del barril de petróleo ha caído considerablemente a partir de mediados del 2014 teniendo un mínimo histórico en enero del 2016 de 23.91 dólares por barril, para septiembre del 2016 tuvo una ligera recuperación y se mantuvo en 37.90 dólares por barril afectando como anteriormente se mencionaba al sector petrolero mexicano.

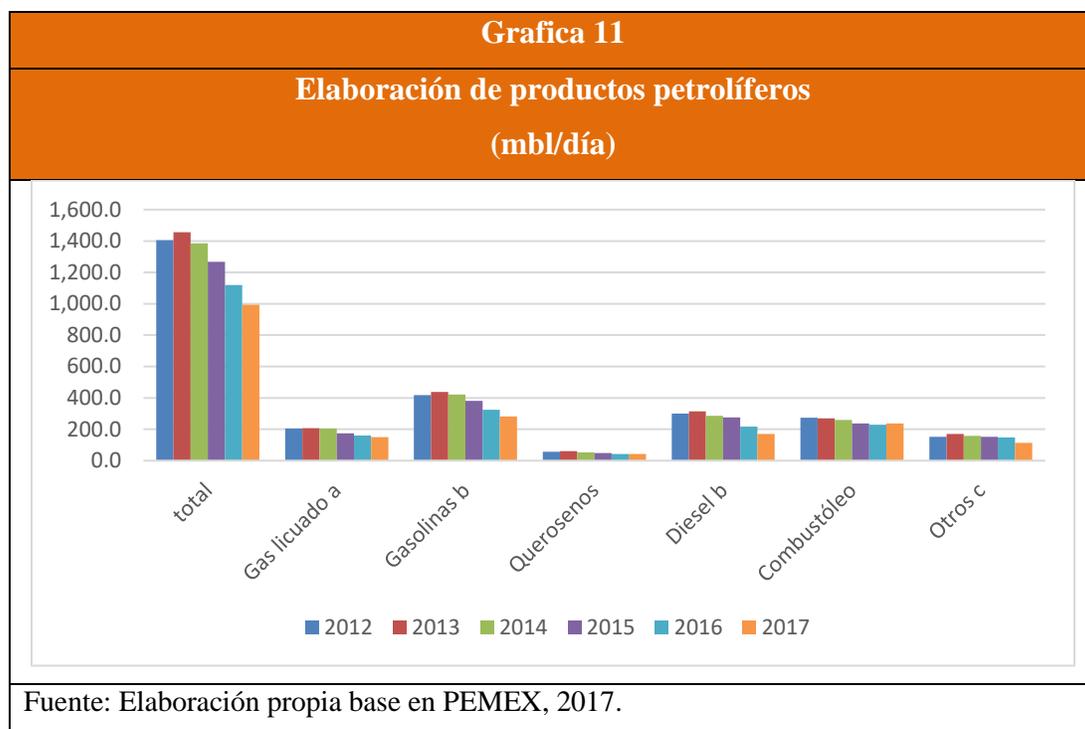
Esta caída del precio del petróleo está muy relacionada con la caída en la producción de petróleo no solo en México sino a nivel mundial teniendo ambas una caída a mediados del 2014.

Los precios bajos amenazan la estabilidad no solo de la industria petrolera mexicana, sino de todos los países petroleros en el mundo ya que este recurso seguirá siendo fundamental para el funcionamiento de la economía global. Incluso con la caída de la demanda en una cantidad récord provocada por los efectos del coronavirus, las compañías petroleras aún enfrentan los desafíos de invertir para compensar los descensos de la producción natural y cumplir con el crecimiento futuro. IEA (2020) pronostica que el gasto de capital global de las compañías de exploración y producción en 2020 disminuirá en aproximadamente un 32% en comparación con 2019 a \$ 335 mil millones, el nivel más bajo en 13 años. Esta reducción de los recursos financieros también permea la capacidad de la industria petrolera para desarrollar algunas de las tecnologías necesarias para las transiciones de energía limpia en todo el mundo.

Dentro de la cadena de valor que conforma PEMEX en la industria petrolera mexicana podemos encontrar el subsector de transformación industrial, el cual es el responsable de darle valor agregado al crudo que se extrae, obteniendo diversos tipos de productos que son indispensables para el ser humano.

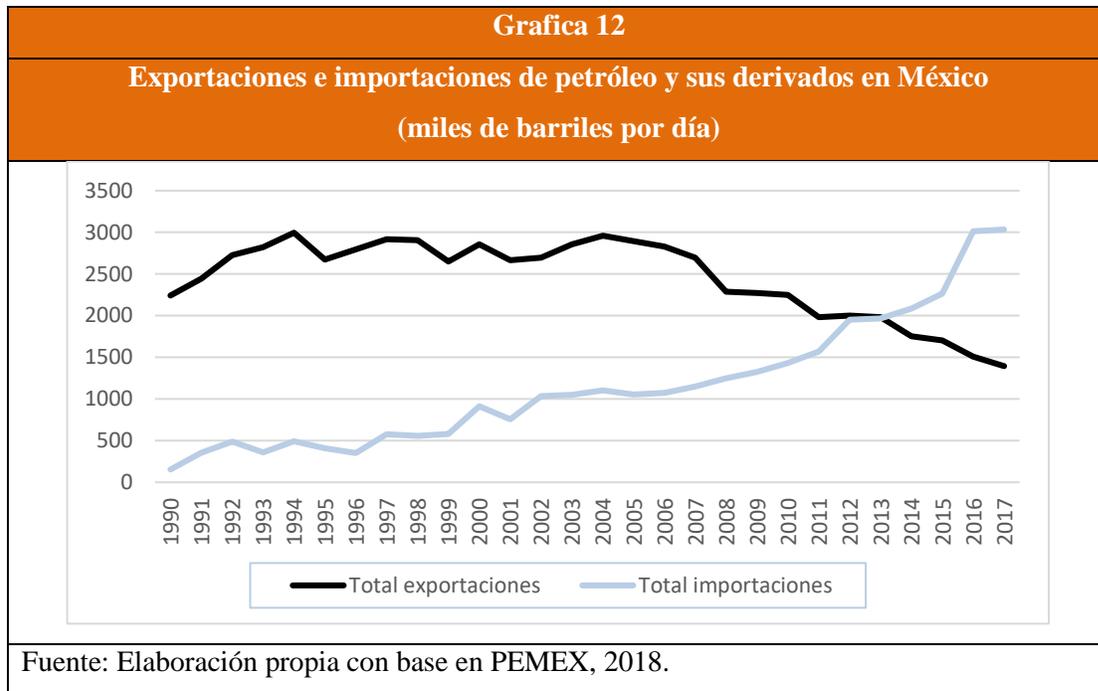
En este subsector, Lajous (2008) menciona que se enfrenta un problema sumamente importante de ineficiencia, así como también una coyuntura crítica en la que está en juego la seguridad de suministro de los combustibles automotrices. La profundidad y la amplitud de sus problemas no han sido debidamente reconocidas y sólo pueden explicarse como resultado de largos años de abandono, de incapacidad manifiesta para identificar y jerarquizar sus causas, y de falta de decisión para actuar sobre los factores determinantes de su desempeño industrial y comercial.

A continuación, se presenta la evolución que ha tenido la elaboración de productos petrolíferos en México desde 2012 hasta 2017 (véase gráfica 11).



La gráfica 11 muestra como la elaboración de productos petrolíferos ha ido a la baja, productos como el gas licuado, la gasolina querosenos que son indispensables para el día a día de las personas han tenido una ineficiencia en su producción lo cual provoca que se importen dichos productos y su precio se mayor del que ya se tenía anteriormente afectando así a los bolsillos de los consumidores en México.

En cuanto a la relación comercial entre la industria petrolera mexicana y el resto del mundo de dicho bien se refiere, también se ha tenido una caída importante en las exportaciones (véase gráfica 12), y no solo eso, si no que las importaciones de petróleo y sus derivados han aumentado y superado a las mexicanas (PEMEX, 2018).



Debido entonces a los factores antes mencionados como la baja producción de petróleo, disminución de las exportaciones, aumento de las importaciones, etc. entre otros que afectan a la industria petrolera en México, la aportación que esta realiza en términos porcentuales al PIB ha ido disminuyendo hasta llegar a 1.49% (Véase gráfica 13), a pesar de que sigue siendo una de las industrias más rentables a nivel global e importante para las economías más fuertes del mundo.



La industria petrolera en México, por lo tanto, aún no se ha desarrollado ni aprovechado de acuerdo al gran potencial que se tiene o bien que podría alcanzar como ocurre con otras naciones como Estados Unidos, Rusia, Emiratos Árabes, etc. Por lo que es necesario realizar estudios sobre la eficiencia en toda la cadena de valor de la industria petrolera mexicana que permitan dar un diagnóstico actual, así como determinar donde se encuentran las áreas de oportunidad en las cuales existe ineficiencia para así proporcionar las soluciones más adecuadas para colocar a la industria petrolera mexicana dentro de las más importantes a nivel mundial y vuelva a generar rentas importantes al país como anteriormente lo hacía.

Por todo lo anterior, se identifica que para tener una industria energética moderna y eficiente, Cárdenas (2008) menciona que debe desarrollarse una planeación integral para el aprovechamiento de todos los recursos en todas las áreas que componen dicha industria.

## **PARTE II**

# **DESARROLLOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS DEL *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS***

# CAPÍTULO 3

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS DEL *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS*

---

Los fundamentos teóricos y metodológicos son de suma importancia en el desarrollo del presente trabajo de investigación. El marco teórico y metodológico del DEA ayudará a que se comprendan y se desarrollen todas las técnicas que se necesiten para llevar a cabo la investigación, así evitando errores, así mismo centrar el problema evitando posibles desviaciones y generar de una manera adecuada las hipótesis a probar.

### 3.1.- Conceptualización de eficiencia

Para Coll y Blasco (2006), la definición de eficiencia está muy relacionada con la economía de los recursos, la eficiencia se puede definir “como la relación entre los resultados obtenidos (*outputs*) y los recursos utilizados (*inputs*)”.

Koopmans (1951), establece una definición más compleja sobre el concepto que asigna de eficiencia, haciendo referencia a una combinación viable de *inputs* y *outputs* la cual es técnicamente eficiente, identifica también que es imposible tecnológicamente incrementar algún *output* y/o reducir algún *input* sin tener que disminuir al mismo tiempo al menos otro *output* y/o aumentar por lo menos otro *input*.

Se entiende, de igual manera, por medio del óptimo de Pareto, el cual señala que una asignación de recursos A se prefiere a otra B solo si con la segunda al menos algún individuo mejora y nadie empeora, esto quiere decir que, el óptimo de Pareto hace referencia a una asignación de recursos la cual no puede ser modificada para mejorar la situación de alguien sin tener que empeorar la condición de otros (Gravelle y Rees, 1981).

El primero en introducir un marco teórico básico para el estudio y medición de la eficiencia fue Farrell en el año 1957, donde propuso analizar a la eficiencia desde una visión real y no ideal, en la cual, cada unidad productiva se evalúa de acuerdo a otras unidades productivas seleccionadas de un grupo representativo y homogéneo, así, la forma en que será medida la eficiencia tenderá a ser relativa y por lo tanto no será absoluta, por lo tanto el valor que se alcance de eficiencia en una unidad productiva establecida responderá a una forma de expresión de la desviación observada sobre aquellas que son catalogadas como eficientes.

También, Farrell (1957), separó la eficiencia en dos formas: la primera en eficiencia técnica y la segunda en eficiencia asignativa, donde el producto de las dos eficiencias brinda una medida de la eficiencia económica que Farrell define como “la forma de eficiencia que presenta una asignación en caso de ser totalmente eficiente desde un punto de vista de eficiencia técnica y asignativa”.

### **3.2.- Métodos de frontera y no frontera**

Para poder medir la eficiencia es necesario identificar entre los métodos de frontera y no frontera. Los métodos de frontera se caracterizan por ser asimétrico a través del término de error de la relación. De acuerdo con Muro (1984), es esta característica estadística donde se encuentra el motivo de la importancia de las funciones de producción.

Por otra parte, en los métodos de no frontera la existencia de una frontera desaparece, teniendo que, el conocimiento de la misma no se busca directamente (Navarro, 2005).

#### **3.2.1.- Métodos no paramétricos**

Los métodos no paramétricos son la manera más directa de solucionar el problema a de falta de normalidad. Este método no necesita la especificación en forma funcional para la frontera, así como tampoco ningún grado de perturbación.

Afriat (1972) contribuyó para la propuesta que más adelante Farrell desarrollaría construyendo una envolvente convexa en la cual emplea distintas técnicas de programación

matemática donde a grandes rasgos; “las unidades eficientes definen los límites de la frontera y todas las demás firmas se encontrarían ya fuese por abajo o bien sobre la frontera de producción”, de acuerdo a los resultados obtenidos, partiendo de un modelo donde se maximizan los ingresos o los costos se minimizan.

En la siguiente tabla 4 se pueden apreciar más a detalle las características de los métodos no paramétricos:

<b>Tabla 4</b>	
<b>Análisis del modelo no paramétrico</b>	
<b>Enfoque</b>	<b>Métodos No paramétricos</b>
Relación con el grado de error	No explica el motivo del ruido
Permite medir	Eficiencia técnica, eficiencia de escala, eficiencia asignativa.
Requerimientos de la información	Cantidades de producción e insumos, <i>eficiencia en costos</i> : productos e insumos y precio de insumo. <i>Eficiencia en ingresos</i> : productos e insumos y precio de los productos. <i>Eficiencia en beneficios</i> : productos, insumos y precio.
Estimación	Programación matemática
Otras Observaciones	No requiere especificar una forma funcional para calcular la frontera eficiente, los errores en la media y <i>outliers</i> . Dado su carácter determinístico, no requiere realizar supuestos sobre la distribución del término error.
Fuente: Elaboración propia con base en Carbajal, 2011.	

### 3.2.2.- Métodos paramétricos

Las aproximaciones de tipo paramétrico son las que utilizan tanto técnicas econométricas como programación matemática para la estimación de parámetros de la frontera.

De acuerdo con Navarro (2005), la principal ventaja de estos métodos consiste en tener clara la frontera, relacionándola matemáticamente, así como de dar lugar también a una gran cantidad de variaciones sobre el tema y ordenar de forma sencilla el análisis de las economías de escala.

En la tabla 5 se puede observar cuales son las características más a detalle del modelo paramétrico.

<b>Tabla 5</b>	
<b>Análisis del modelo paramétrico</b>	
<b>Enfoque</b>	<b>Métodos paramétricos</b>
Relación con el error	Explica el ruido
Permite medir	Eficiencia técnica, eficiencia de escala, eficiencia asignativa y cambio en la PTF.
Requerimientos de la información	Depende del modelo. Función de producción: productos e insumos. Función de costos: costos, producto y precio de insumos. Función de beneficios: beneficios, cantidades, precio de insumos.
Estimación	Econometría
Otras Observaciones	Las especificaciones de alguna forma funcional para estimar la frontera eficiente. Puede confundir ineficiencia con alguna mala especificación del modelo.
Fuente: Elaboración propia con base en Carbajal, 2011.	

### 3.2.1- Definición de eficiencia productiva

La eficiencia productiva juega un papel preponderante para el análisis general de la eficiencia en la teoría económica. Koopmans (1951) fue el primer autor que dio pie a este, quien se centra en la eficiencia técnica, definiéndola como se mencionó anteriormente, señalando que “una combinación viable de *inputs* y *outputs* es técnicamente eficiente, si es tecnológicamente imposible aumentar algún *output* y/o reducir algún *input* sin reducir simultáneamente al menos otro *output* y/o aumentar al menos otro *input*”.

De igual manera y en el mismo año, Debreu (1951) estableció la creación de un índice de eficiencia técnica, al que llamó “coeficiente de utilización de los recursos”, el cual se define como la unidad menos la máxima reducción equiproporcional en todos los *inputs*, consistente con el mantenimiento de la producción de los *outputs*. Este coeficiente no depende de las unidades de medida empleadas, lo cual constituye una propiedad interesante desde el punto de vista operativo.

Basado en los trabajos que realizaron Koopmans (1951) y Debreu (1951) respecto a la eficiencia productiva, Farrell (1957) agregó a la eficiencia técnica un concepto nuevo llamado “eficiencia asignativa” que él llamó eficiencia en precios. Para ello supuso que la empresa persigue un objetivo que consiste en la minimización de los costos. La eficiencia asignativa consiste para Farrell (1957) en elegir, de entre las combinaciones de *inputs* y *outputs* técnicamente eficientes, aquella que resulta más barata según los precios de los *inputs*.

Koopmans (1951) señala que el problema de medir la eficiencia productiva de una industria es de suma importancia tanto para el desarrollo científico como para los que llevan a cabo la aplicación de políticas económicas. Menciona que “los argumentos teóricos relacionados a la eficiencia de diferentes sistemas económicos deben ser sometidos a pruebas empíricas”. De la misma forma, debe analizar la planeación económica de ciertas industrias, conociendo en que momento alguna industria pueda esperar que aumente su *output* con solo aumentar sus niveles de eficiencia, sin la necesidad de adquirir más insumos de los ya necesarios. Es por esto que se han generado mediciones muy específicas de los *inputs* y *outputs* de la

industria, pese a esto, se ha fallado en mezclar esas mediciones con la finalidad de obtener eficiencias más satisfactorias.

### **3.2.2- Concepto de eficiencia técnica**

De acuerdo con Koopmans (1951), una firma llega a alcanzar la eficiencia técnica si no puede obtener alguno más de sus insumos sin obtener menos de algún otro, o sin utilizar más de alguno de los factores de la producción. Concluyentemente, ser eficiente técnicamente se asocia al desempeño de los recursos con los que se cuenta dentro del proceso de producción, y no se relaciona a ningún fin de carácter económico.

Las medidas de eficiencia técnica inspiradas en las propuestas de Farrell (1957) y Debreu (1951) son radiales. El carácter radial hace referencia a que “miden la máxima reducción equiproporcional de los factores que sería compatible con un mismo nivel de producción o, alternativamente, el mayor aumento equiproporcional en los productos que podría obtenerse empleando los factores en la misma cantidad”. Contemplan aumentos de los productos o reducciones de los factores, pero todos ellos en la misma proporción, por lo que son invariantes ante cambios en las unidades de medida.

El problema de lo anterior es que, las medidas de este tipo presentan un verdadero problema, debido a que no detectan todas las posibles situaciones en las que podría existir ineficiencia técnica, debido a un uso en exceso de algunos factores.

A partir de los trabajos realizados por Farrell (1957) otros autores como Forsund y Hijalmarsson (1974) y Forsund et al (1980) han propuesto otros conceptos alternativos como lo es la eficiencia técnica, tanto asignativa como de escala. Más adelante, con Banker, Charnes y Cooper (1984), se dividió la eficiencia técnica (también llamada eficiencia técnica global) en lo que se conoce como eficiencia de escala y eficiencia técnica pura.

La eficiencia técnica pura identifica la medida en que la unidad productiva analizada extrae el mayor rendimiento de los recursos físicos disponible. Por otro lado, la eficiencia de escala destaca en el momento en que la tecnología identifica rendimientos variables de escala. Esta eficiencia identifica si una unidad productiva que ha sido analizada, puede llegar al punto

óptimo de la escala. Por lo tanto, los rendimientos de escala se logran obtener cuando se aumenta de manera proporcional el total de los factores que afectan a la función de producción. Hay entonces, distintos tipos de rendimientos de escala (Varian, 1998):

1. **Rendimientos constantes de escala.** Hace referencia a que, si aumenta la cantidad de los factores, la producción aumentará de manera proporcional.
2. **Rendimientos crecientes de escala.** Hace referencia a que, si se aumenta la cantidad de los factores, la producción aumentará entonces, en una proporción mayor.
3. **Rendimientos decrecientes de escala.** Ocurren cuando al incrementar la cantidad de los factores, la producción aumentará en una proporción menor.

Así la eficiencia técnica global es el resultado de la eficiencia de escala y de la eficiencia técnica pura. A partir de la definición de la eficiencia técnica, se señala a la tecnología como una pieza fundamental para entender dicho término. Las firmas se encuentran con restricciones tecnológicas, ya que solo existen algunas combinaciones de factores viables para obtener una cantidad dada de producción, por lo que las empresas deben estar limitadas a adoptar planes de producción que sean factibles desde una visión tecnológica. Por lo tanto, al conjunto de todas las combinaciones de factores y de productos tecnológicamente viables, se les llama conjunto de producción. Este conjunto de producción establece las elecciones tecnológicas posibles que puede tener la firma (Varian, 1998).

Una de las posibles causas de la ineficiencia técnica, productiva o global, normalmente se encuentra en un problema que va de la mano con la organización de las tareas por parte del responsable de la administración. Otro motivo se puede encontrar en la motivación que tienen los empleados que forman parte de la empresa productiva.

### **3.2.3- Concepto de eficiencia asignativa**

El concepto de eficiencia asignativa nace del análisis de la teoría microeconómica, especialmente en las teorías propuestas por Pareto. Sin embargo, existen autores que han brindado definiciones relacionadas a su función como elemento clave del análisis de la eficiencia económica.

Dentro de la teoría microeconómica se identifica la eficiencia en la asignación cuando no hay desperdicios de recursos, así como también cuando se cumple el principio del óptimo de Pareto. Se deben cumplir tres condiciones clave para alcanzar la eficiencia en la asignación:

- **Eficiencia económica.** Incluye la eficiencia técnica, utiliza por lo tanto los factores de la producción de tal manera que haya una minimización de costos.
- **Eficiencia del consumidor.** Sucede en el momento en el que los consumidores no pueden mejorar aún se asigne de nuevo el presupuesto.
- **Igualdad del costo marginal** Se refiere al costo de producir una unidad adicional de producto, incluyendo los costos externos y de beneficio social marginal que hace referencia al valor del beneficio de una unidad adicional de consumo, incluyendo beneficios externos.

Hernández-Laos (1985), por su parte, establece que “la eficiencia asignativa se refiere a la asignación de recursos, lo cual corresponde al criterio de asignar una cantidad fija de recursos entre situaciones alternativas con el propósito de maximizar la cantidad del producto o satisfacción”, ya sea que el análisis esté concentrado en el consumo o en la producción.

Yarad (1990) identifica que la eficiencia asignativa o también conocida como de costos hace referencia a que “el gasto monetario total en insumos utilizados para producir una cantidad dada de bienes sea el mínimo posible de acuerdo a los precios de los insumos”.

González-Páramo (1995) concuerda con que la eficiencia asignativa surge al momento de que una firma logra minimizar sus costos o maximizar sus beneficios.

La eficiencia asignativa se logra cuando el gestor de alguna unidad productiva ha logrado tanto alcanzar el conjunto de frontera de producción, así como también cuando se elige la combinación de factores que permita minimizar los costos para un nivel de producción asignado, Bosch, Navarro y Giovagnoli (1999).

Por eficiencia asignativa se entiende también que, los indicadores de precios deben ser eficientes en términos económicos, es decir, deben ser lo más cercano a una asignación óptima de acuerdo con Pareto.

### 3.3.- Estructura y antecedentes del modelo DEA

En años posteriores a la segunda guerra mundial, surgió un gran interés en el estudio del crecimiento y productividad de la firma. En este tiempo, el documento con más influencia sobre estos temas macroeconómicos fue el realizado por Solow (1957). Farrell, al mismo tiempo, sentaba los cimientos para los nuevos enfoques hacia los estudios de eficiencia y productividad en el nivel micro, generando nuevas aportaciones sobre dos premisas: la primera la de generar una definición de eficiencia y productividad y segunda, cómo calcular la tecnología del *benchmark* y establecer las mediciones de la eficiencia.

La suposición clave surgió del análisis de las operaciones ineficientes, inmediatamente señalando hacia un concepto e idea de función de producción frontera como el *benchmark*, en contraposición a la noción de desempeño promedio que se había manejado con anterioridad (Forsund y Sarafoglou, 2000).

Farrell (1957), tuvo su inspiración en los trabajos de Debreu y Koopmans de donde obtiene una medida de eficiencia total, compuesta de dos partes: eficiencia asignativa y eficiencia técnica. Farrell considera una firma que emplea dos factores de producción (*input*) para producir un solo bien (*output*), producido bajo condiciones de rendimientos constantes de escala. El supuesto de rendimientos constantes de escala permite que toda la información relevante sea presentada a través de una isocuanta. Esta restricción es abandonada posteriormente, al trabajar un modelo alternativo donde mide la eficiencia bajo condiciones de rendimientos no constantes a escala (Farrell y Fieldhouse, 1962).

En la figura 4, como se observa, el punto P representa a los insumos de los dos factores por unidad de producto que necesita la firma. La isocuanta  $SS'$  representa las combinaciones posibles de los dos factores que la empresa más eficiente podría requerir para producir una unidad de producto (Navarro, 2005).

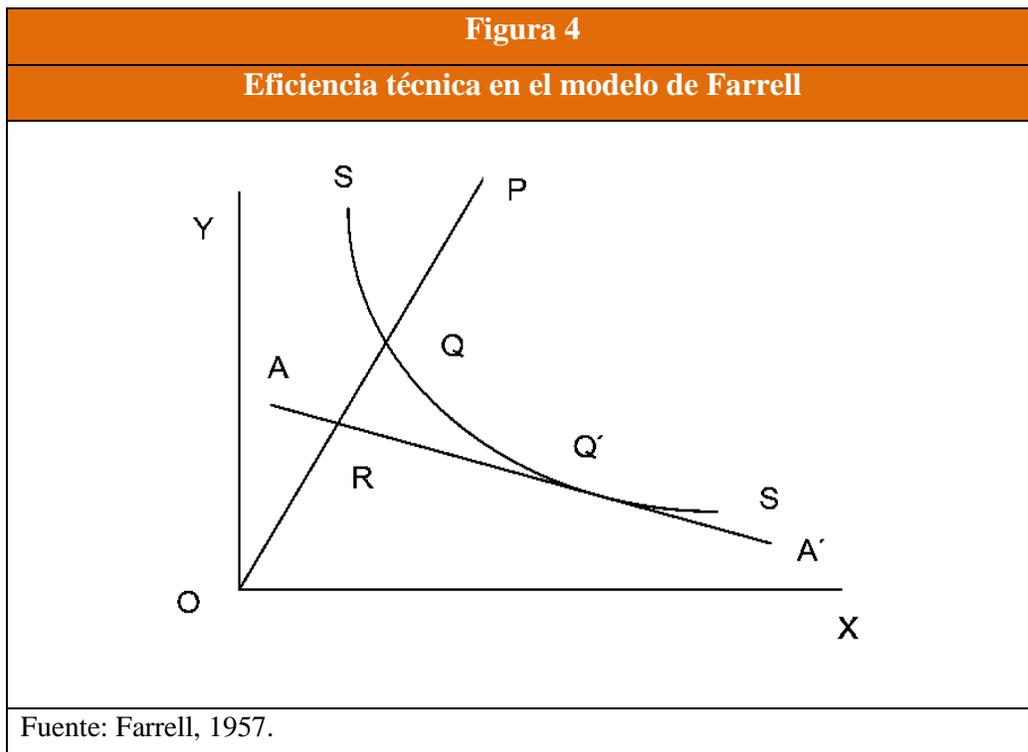
El punto Q representa una empresa eficiente que usa los dos factores en la misma proporción que la empresa P. La razón  $OQ/OP$  define la eficiencia técnica de la empresa P (Farrell,

1957). “La eficiencia técnica es una medida de eficiencia que relaciona la combinación de factores que utilizaría la empresa más eficiente existente en el mercado en esos momentos” (Hernández Laos, 1981), mencionado en Navarro (2005).

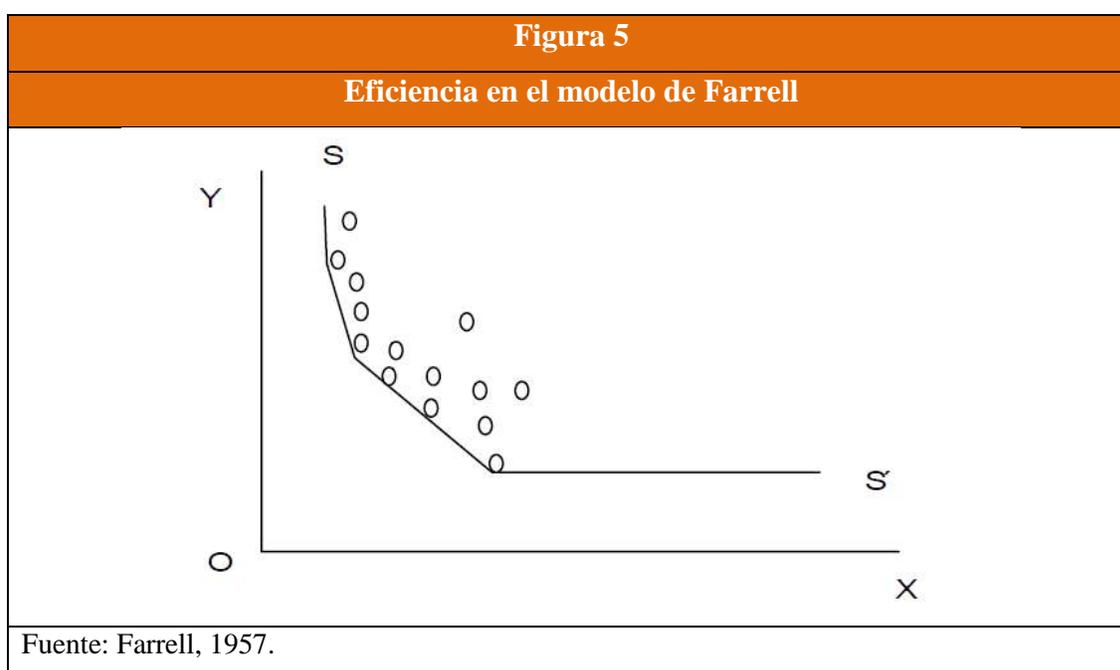
Se necesita, también, una medida que explique cuándo una empresa usa los factores de la producción en las mejores proporciones, de acuerdo a sus precios. Así en la figura 1, si AA´ (línea de isocostos) tiene una inclinación igual a la razón de los precios de los dos factores, Q´ y no Q es el método óptimo de producción. La empresa P producirá a un costo igual a R si hubiese escogido adecuadamente las técnicas y proporción de factores correctos. La relación OR/OQ mide lo que Farrell llama eficiencia asignativa y como tal se refiere a la selección apropiada (o inapropiada) de la combinación de insumos (Hernández-Laos, 1981).

Por último, Farrell señala que la eficiencia total es igual a la suma de la eficiencia técnica y la eficiencia tasignativa.

$$OR / OP = (OR / OQ) (OQ / OP) \tag{1}$$



Debido a que la función de producción eficiente está identificada por las isocuantas, el problema de Farrell, es, entonces calcular la isocuanta de la firma que es más eficiente. Farrell la calcula introduciendo una línea (véase figura 5), que rodea los puntos localizados en el plano de producción. Farrell por lo tanto, asume que la isocuanta eficiente es convexa al origen y que, si 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 firmas más eficientes; el peso de cada punto se determina de forma tal que se obtenga la proporción de factores que se desea.



Aparte del estudio realizado de la eficiencia al nivel de la firma, Farrell (1957) introdujo medidas de eficiencia agregadas para toda una industria en general. A esto lo denominó, eficiencia estructural el cual indica “el grado en que una industria se mantiene al nivel del comportamiento de sus empresas más eficientes”. La eficiencia estructural de una industria será más grande cada vez, solo si la distribución de las firmas se logra concentrar en la proximidad de su frontera hacia el origen en el plano de los insumos dados (Navarro, 2005).

La estimación de funciones de producción frontera bajo condiciones de rendimientos crecientes de escala, es importante y complicada. Farrell y Fieldhouse (1962), citados en Navarro (2005) discuten dos formas para atacar el problema señalado:

La primera, consiste en agrupar observaciones de acuerdo a los productos y entonces estimar la función de producción eficiente para cada grupo de productos separadamente. Los autores llamaron a este procedimiento “método de agrupamiento”. “La estimación de las funciones de producción eficientes por este método, contempla dos clases de variaciones: primero, errores de observación (el tipo de error aleatorio comúnmente tratado con trabajo estadístico) y, en segundo lugar, variaciones en la eficiencia, lo que puede conducir a desviaciones de las observaciones en una sola dirección respecto a la función de producción eficiente” (ídem).

La segunda solución conocida como “método global”, “considera una función de producción que relaciona la cantidad  $X$  de un solo producto con los insumos (*inputs*)  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ”. Esta función de producción se puede interpretar como la mayor cantidad de  $X$  que se puede obtener de un conjunto de insumos proporcionados, y se presenta de la siguiente manera:

$$X = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Por otro lado, se considera en cómo determinar el conjunto de todas las combinaciones de insumos y productos que son técnicamente posibles. En este caso, debe de ser representado por la desigualdad que se muestra a continuación:

$$X \leq f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

Este agrupamiento de puntos, algunas veces se les hace referencia como el grupo de puntos alcanzables, una vez que que la función de producción es convexa, se está dando a entender que el conjunto de puntos alcanzable es convexo (Farrell y Fieldhouse, 1962), mencionados por Navarro (2005).

Más tarde, Farrell planteó establecer los parámetros de la función frontera, por medio de la función de tipo Cobb-Douglas. Aigner y Chu en 1968 fueron los primeros en seguir la sugerencia de Farrell. Especificaron una función de producción frontera de tipo Cobb-Douglas, la cual requirió que todas las observaciones estuvieran en o por debajo de la frontera. El modelo planteado por Aigner y Chu quedó de la manera siguiente:

- $\ln y = \ln f(x) - u$  (4)

- $\ln y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln X_i - u$  (5)

Los parámetros del vector  $\alpha = (\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n)$  se estiman por medio de la programación lineal así como también por medio de la programación cuadrática. La eficiencia técnica de cada observación puede ser registrada directamente del vector de residuos, ya que “ $u$ ” representa la ineficiencia técnica del problema (Navarro, 2005).

### 3.3.1- Generalidades del método DEA

El uso del método DEA ha sido enfocado al campo de la producción para lograr medir de manera general la eficiencia, o bien, en su caso, para brindar los cálculos necesarios sobre el estudio de la productividad. Por lo anterior, Mercado (1997) brinda la siguiente definición de eficiencia:

$$Eficiencia = (outputs) / (inputs)$$

Por lo tanto, en términos generales, también se define como:

$$E = \text{entras/salidas} \tag{6}$$

De manera formal, se define como:

$$E = \frac{\sum_{i=0}^N v_i y_i}{\sum_{i=0} u_i x_i} \quad (7)$$

La E hace referencia a la eficiencia,  $x_i$  y  $y_i$  representan a los *inputs* y *outputs*, propiamente, los parámetros  $u_i$  y identifican las relevancias relativas de cada uno de los parámetros establecidos.

El problema principal de la evaluación de la eficiencia se terminaría si el encargado del análisis conociera la importancia relativa de cada una de *los inputs* y *outputs*. Sin embargo, esta es una información que en general se desconoce.

Para evaluar la eficiencia, normalmente se deben de involucrar varios *inputs* y *outputs*, para lo cual deberán seleccionarse atendiendo a la definición del problema objeto de estudio. 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 la técnica DEA, sino a la propuesta de alternativas para mejorar la eficiencia (Lo, *et al.*, 2001).

La evaluación del desempeño se convierte por lo tanto en la preocupación principal y particularmente el evaluar las actividades de las empresas como agencias gubernamentales, firmas de negocios, dependencias, escuelas, hospitales etc. Dichas evaluaciones toman distintas formas en el análisis. Uno de ejemplos más comunes son los beneficios, costos, grado de satisfacción etc. De las unidades, las cuales las cuales pueden ser medidas de la siguiente manera bajo la siguiente relación:

$$Output / Input \quad (8)$$

Esta es una medición de eficiencia usada comúnmente. La medición usual de “productividad” también asume una relación utilizada para evaluar el desempeño de un trabajador o empleado. “*Output* por trabajador-hora” o “*output* por trabajador empleado” son ejemplos con ventas, beneficios u otras mediciones de *output* las cuales aparecen en el numerador. Tales mediciones a veces son referidas como “medidas parciales de productividad”. Esta terminología es destinada a distinguirlas de las “medidas de productividad total de los factores”, porque lo último intenta obtener una relación de valor *output-input* que toma en cuenta todos los *outputs* e *inputs* (ibíd).

De acuerdo con Lo et al (2001), “moverse de las mediciones parciales de productividad hacia las medidas de productividad total de los factores combinando todos los *inputs* y *outputs* para obtener una única relación ayuda a evitar la imputación de las ganancias a un factor (o un *output*) que son realmente atribuibles a algún otro *input* (u *output*)”. Por ejemplo, el ganar un *output* como resultado de un aumento en capital o podría ser erróneamente atribuida a la mano de obra (cuando una única relación de *output* hacia *input* se utiliza). Un intento para mover de las mediciones parciales a las totales, sin embargo, encuentra dificultades como seleccionar los *inputs* y *output* a ser considerados y los pesos que se utilizarán para obtener una relación de un *output* con un *input* (ibíd).

Otros problemas y limitaciones también son incurridos en tradicionales intentos para evaluar la productividad o eficiencia cuando múltiples *outputs* y múltiples *inputs* necesitan ser tomados en cuenta. El enfoque relativamente nuevo incorporado en DEA no requiere que el usuario prescriba pesos que sean adjuntados a cada *input* y *output*, como en los acostumbrados enfoques de número de índices, y tampoco requiere prescribir las formas funcionales que son necesarias en los enfoques de regresión estadística (Ibíd).

El DEA utiliza técnicas como la programación matemática que puede manejar grandes números de variables y relaciones (restricciones) y esto relaja los requerimientos que frecuentemente son encontrados cuando uno está limitado a escoger sólo unos pocos *inputs* y *outputs* porque las técnicas empleadas encontrarán, de otra forma, dificultades. Las condiciones relajantes sobre el número de candidatos a ser utilizados en calcular las mediciones de evaluación deseadas lo hacen más fácil para tratar con problemas complejos y para tratar con otras consideraciones que probablemente sean confrontadas en muchos

contextos de política social y de gestión. Además, el conjunto extenso de teoría y metodología disponible de programación matemática puede ser ejercido para afectar los cálculos porque mucho de lo que es necesario ya ha sido desarrollado y adaptado para su uso en muchas aplicaciones a priori de DEA (Cooper *et al.* 2000)

### **3.3.1- Formulación matemática del modelo básico CCR (Charnes, Cooper y Rhodes)**

De manera general, el modelo propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (CCR) (1978), parte de rendimientos constantes a escala. Se determina la orientación input y orientación output. Determina la importancia de cada input respecto del total al igual que cada output.

Para permitir las aplicaciones de una extensa variedad de actividades, se utilizará el término DMU (descrito anteriormente) para referirnos a cualquier entidad (puerto/terminal) que sea evaluada en términos de sus habilidades para convertir *inputs* en *outputs*. Esas evaluaciones pueden involucrar agencias gubernamentales y organizaciones sin fines de lucro además de firmas de negocios (Cooper, *et al.* 2004).

Los pesos óptimos podrían (y generalmente) variar de una DMU a otra. Por eso, los “pesos” en el DEA son derivados de los datos en lugar de ser fijos de antemano. A cada DMU se le asigna el mejor conjunto de pesos con valores que pueden variar de una DMU a otra (Cooper *et al.* 2000).

Suponemos que existen  $n$  DMU's;  $DMU_1, DMU_2, \dots, DMU_n$ . Algunos ítems comunes de *inputs* y *outputs* para cada una de las  $j = 1, \dots, n$  DMU's son seleccionados como sigue:

1. Los datos numéricos están disponibles para cada *input* y *output*, con los datos que se suponen sean positivos para todas las DMU's.
2. Los ítems (*inputs*, *outputs* y la elección de las DMU's) deberían reflejar un interés analítico o de gestión en los componentes que entraran en las evaluaciones de eficiencia relativa de las DMU's.

3. En principio, las cantidades más pequeñas de *input* y las cantidades más grandes de *output* son preferibles, así los resultados de eficiencia deberían reflejar esos principios.
4. Las unidades de medición de los diferentes *inputs* y *outputs* no necesitan ser congruentes. Algunos pueden involucrar número de personas, o áreas de espacio de piso, dinero gastado, etc.

Suponemos que  $m$  *inputs* y  $s$  *outputs* son seleccionados con las propiedades arriba anotadas 1 y 2. Sean los datos de *input* y *output* para la DMU <sub>$j$</sub>  ( $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ ) y ( $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$ ), respectivamente. La matriz de datos *input*  $X$  y la matriz de datos *output*  $Y$  pueden ser arregladas.

Cada DMU consume varias cantidades de  $m$  diferentes *inputs* para producir  $s$  diferentes *outputs*. Específicamente, la DMU <sub>$j$</sub>  consume cantidades de *input*  $i$   $x_{ij}$  y produce cantidades de *output*  $r$   $y_{rj}$ . Suponemos que  $x_{ij} > 0$  y  $y_{rj} > 0$  y además suponemos que cada DMU tiene al menos un valor de *input* positivo y un valor de *output* positivo (Cooper, *et al.* 2004)

Ahora regresamos a la “relación-forma” (*ratio-form*) del DEA. En esta forma, como se introdujo por Charnes, Cooper y Rhodes, la relación de *outputs* a *inputs* es utilizada para medir la eficiencia relativa de la DMU <sub>$j$</sub>  = DMU <sub>$o$</sub>  que es evaluada en relación a los *ratios* de todas las  $j = 1, 2, \dots, n$  DMU <sub>$j$</sub> . Podemos interpretar la construcción como la reducción de la situación *output*-múltiple / *input*-múltiple (para cada DMU) hacia un único *output* virtual y un único *input* virtual. Para una DMU particular la relación único *output* virtual entre único *input* virtual provee una medida de eficiencia que es una función de los multiplicadores (ídem).

En el lenguaje de programación matemática, está relación, la cual será maximizada, forma la función objetivo para una DMU particular a ser evaluada, así que simbólicamente se representa:

$$\max h_o(u, v) = \sum_r u_r y_{ro} / \sum_i v_i x_{io} \tag{9}$$

Donde se nota que las variables son las  $u_r$ 's y las  $v_i$ 's, y las  $y_{ro}$ 's y  $x_{io}$ 's son los valores de *output* e *input* observados, respectivamente, de  $DMU_o$ , la DMU a ser evaluada (Cooper, *et al.* 2004).

Un conjunto de restricciones normalizadas (una de cada DMU) refleja la condición de que la relación *output* virtual entre *input* virtual de cada DMU, incluyendo  $DMU_j = DMU_o$ , debe ser menor o igual a la unidad. El problema de programación matemática podría ser establecido como:

$$\max h_0(u, v) = \sum_r u_r y_{ro} / \sum_i v_i x_{io}$$

Sujeta a:

$$\sum_r u_r y_{rj} / \sum_i v_i x_{ij} \leq 1 \quad \text{Para } j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0 \text{ para todas las } i \text{ y } r \tag{10}$$

Observación: un desarrollo completo más riguroso reemplazaría  $u_r, v_i \geq 0$  por:

$$\frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}, \frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \geq \varepsilon > 0 \tag{11}$$

Donde  $\varepsilon$  es un elemento no Arquímedeano más pequeño que cualquier número real. Esta condición garantiza que las soluciones serán positivas en esos valores. Lo cual guía a la segunda etapa de la optimización de las holguras (*slacks*) (Cooper, *et al.* 2004)

La forma de relación arriba mencionada produce un número infinito de soluciones si  $(u^*, v^*)$  es óptima, entonces  $(\alpha u^*, \alpha v^*)$  es también óptima para  $\alpha > 0$ . Sin embargo, la transformación desarrollada por Charnes y Cooper (1962) para la programación fraccional lineal selecciona una solución representativa y produce el problema equivalente de programación lineal en el cual el cambio de variables de  $(u, v)$  a  $(\mu, \nu)$  es un resultado de la transformación Charnes-Cooper, mencionados por Cooper, *et al.* (2004)

$$\max z = \sum_{r=1}^S \mu_r y_{r0}$$

El cual está sujeto a:

$$\sum_{r=1}^S \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

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

$$u_r, v_i \geq 0$$

(12)

Para el cual, el problema dual de PL (Programación Lineal) es:

$$\theta^* = \min \theta$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq \theta y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

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

(13)

Este último modelo, es en ocasiones referido como el “modelo de Farrell” porque es el único utilizado por él. En la parte económica de la literatura del DEA se dice que se ajusta a la suposición de “disposición fuerte” porque ignora la presencia de holguras diferentes de cero. En la parte de investigación de operaciones de la literatura del DEA esto es señalado como “eficiencia débil”.

En virtud del teorema dual de programación lineal tenemos que  $z^* = \theta^*$ . Podemos resolver el modelo anterior para obtener un resultado de eficiencia. Porque podemos colocar  $\theta = 1$  y  $\lambda^*_k = 1$  (lambda) con  $\lambda^*_k = \lambda^*_o$  y todas las demás  $\lambda^*_j = 0$ , una solución para dicho modelo siempre existe. Además, esta solución implica  $\theta^* \leq 1$ . La solución óptima,  $\theta^*$ , produce un resultado de eficiencia para una DMU en particular. El proceso es repetido para cada DMU<sub>j</sub>. Las DMU's para las cuales  $\theta^* < 1$  son ineficientes, mientras las DMUs para las cuales  $\theta^* = 1$  son puntos fronterizos (Cooper, *et al.* 2004).

Algunos puntos fronterizos pueden ser “débilmente eficientes” porque tenemos holguras diferentes de cero. Esto puede parecer preocupante porque la alternativa óptima podría tener holguras diferentes de cero en algunas soluciones, pero en otros no. Sin embargo, podemos evitar estar preocupados incluso en tales casos, invocando el siguiente programa lineal en el cual las holguras toman sus valores máximos.

$$\max \sum_{j=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + s_i^- = \theta^* x_{10} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + s_i^+ = y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall i, j, r$$

(14)

Donde notamos que las opciones de  $s_i^-$  y  $s_r^+$  no afectan el óptimo  $\theta^*$  que está determinado en el “modelo de Farrell”. Estos adelantos ahora nos llevan a las siguientes definiciones acerca de la eficiencia relativa:

**DEA eficiente:** el desempeño de la DMU<sub>o</sub> es totalmente eficiente (100%) sí y solo si  $\theta^* = 1$  y todas las holguras  $s_i^- = s_r^+ = 0$ .

**DEA débilmente eficiente:** el desempeño de la DMU<sub>o</sub> es débilmente eficiente sí y solo si  $\theta^* = 1$  y  $s_i^- \neq 0$  y/o  $s_r^+ \neq 0$  para algún  $i$  y  $r$  en alguna alternativa óptima (Cooper, *et al.* 2004).

Cabe señalar que el desarrollo de las cantidades anteriores sirve para resolver el siguiente problema en dos pasos:

$$\min \theta - \varepsilon (\sum_{j=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + s_i^+ = y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall i, j, r \quad (15)$$

Donde  $s_i^-$  y  $s_r^+$  son variables de holgura utilizadas para convertir las desigualdades en (13) a ecuaciones equivalentes. Aquí  $\varepsilon > 0$  es también un elemento no Arquimedeano menor a cualquier número real positivo. Esto es equivalente a resolver (13) en dos etapas primero minimizando  $\theta$ , luego arreglando  $\theta = \theta^*$  como en (10), donde las holguras son maximizadas sin alterar el valor previamente determinado de  $\theta = \theta^*$ . Formalmente, esto es equivalente a otorgar la “prioridad preferente” a la determinación de  $\theta^*$  en (12).

Alternativamente, uno podría haber comenzado con el lado *output* y haber considerado en lugar de la relación de *input* virtual la relación de *output* virtual. Esto reorientaría el objetivo de maximizar a minimizar, como en (10), para obtener:

$$\text{Min} \sum_i v_i x_{i0} / \sum_r u_r y_{r0}$$

Sujeto a:

$$\sum_i v_i x_{ij} / \sum_r u_r y_{rj} \geq 1 \quad \text{Para } j = 1, \dots, n,$$

$u_r, v_i \geq \varepsilon > 0$  para todas las  $i$  y  $r$ .

(16)

De nuevo, la transformación Charnes-Cooper (1962) para la fraccional de programación lineal produce el modelo (17) (modelo multiplicador), con el problema dual asociado (18) (modelo envolvente), como se muestra a continuación:

$$\text{Min } q = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \geq 0$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0} = 1$$

$$\mu_r, v_i \geq \varepsilon, \forall r, i \quad (17)$$

$$\max \emptyset - \varepsilon \left( \sum_{j=1}^m s_j^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \emptyset y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

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

(18)

Aquí estamos utilizando el modelo con un objetivo orientado a *output* en contraste con la orientación *input* en (15). Sin embargo, como antes, el modelo (18) es calculado en un

proceso de dos etapas. Primero, calculamos  $\phi^*$  ignorando las holguras. Luego optimizamos las holguras arreglando  $\phi^*$  en el siguiente problema de programación lineal,

$$\max\left(\sum_{j=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+\right)$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j + s_i^- &= x_{i0} & i = 1, 2, \dots, m; \\ \sum_{j=1}^n y_{rj}\lambda_j - s_r^+ &= \phi^* y_{r0} & r = 1, 2, \dots, s; \\ \lambda_j &\geq 0 & j = 1, 2, \dots, n; \end{aligned} \tag{19}$$

Luego, modificamos la definición previa de la eficiencia DEA orientada a *input* a la siguiente versión de orientado a *output* (Cooper, *et al.* 2004).

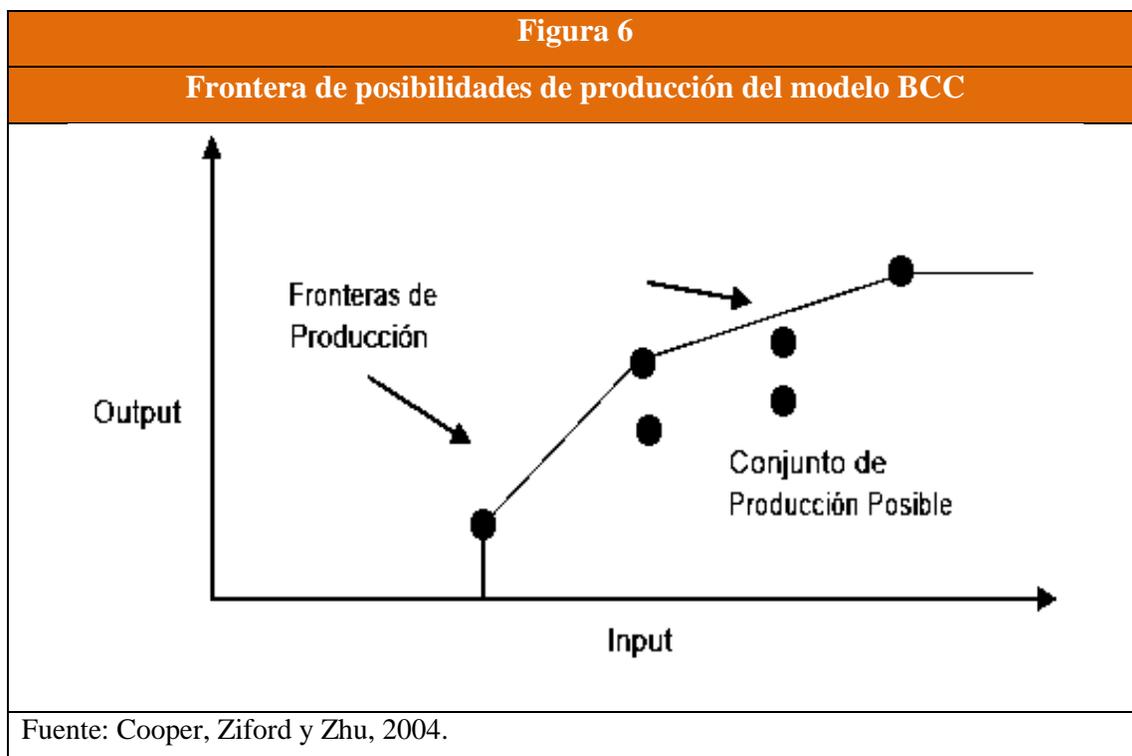
- La DMU<sub>o</sub> es eficiente si y solo si  $\theta^* = 1$  y  $s_i^- = s_r^+ = 0$  para todas las  $i$  y  $r$ .
- La DMU<sub>o</sub> es débilmente eficiente si  $\theta^* = 1$  y  $s_i^- \neq 0$  y/o  $s_r^+ \neq 0$  para alguna  $i$  y  $r$  en alguna alternativa óptima.

### 3.3.2-Formulación matemática del modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper)

En el modelo propuesto por Banker, Charnes y Cooper (BCC) (1984) de manera general se incluyen los rendimientos variables a escala en el cual se le agrega una restricción. De igual manera, descomponen la eficiencia técnica en dos: eficiencia técnica pura y eficiencia de escala.

Previamente se analizó el modelo CCR, el cual se desarrolla sobre el supuesto de los rendimientos constantes a escala como se describe por la frontera de posibilidades de producción en el caso de un único *input* y un único *output*.

Generalmente, se asume que el conjunto de producción posible tiene la siguiente propiedad: Sí  $(x, y)$  es un punto factible, entonces  $(tx, ty)$  para cualquier número positivo  $t$  también es factible. Esta suposición puede ser modificada para permitir conjuntos de producción posibles con diferentes postulados. De hecho, desde el principio de los estudios DEA, varias extensiones del modelo CCR han sido propuestas, entre las cuales el modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper) es representativo. El modelo BCC tiene sus fronteras de producción en el núcleo convexo de las DMU's existentes. Las fronteras tienen características cóncavas y lineales, mostradas en la figura 6, que guían a las caracterizaciones de los rendimientos a escala variables con (a) rendimientos a escala crecientes ocurriendo en la primera línea sólida de segmento seguida por (b) rendimientos a escala decrecientes en el segundo segmento y (c) rendimientos a escala constantes ocurriendo en el punto en donde la transición del primero al segundo segmento es realizada.



Los modelos BCC y CCR se diferencian sólo en que el primero incluye la condición de convexidad  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, \lambda_j$ , en sus restricciones. Por eso, como podría esperarse, comparten propiedades en común y al mismo tiempo muestran diferencias (Cooper, et al., 2000).

Se presenta a continuación el modelo BCC. Supóngase, que se tienen  $n$  DMU's donde cada DMU $_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , produce los mismos outputs en diferentes cantidades,  $y_{rj}$  ( $r = 1, 2, 3, \dots, s$ ), utilizando los mismos  $m$  inputs,  $x_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), también en diferentes cantidades. La eficiencia de una DMU $_o$  específica puede ser evaluada con el modelo BCC del DEA en “forma envolvente” y orientada a *output* como sigue:

$$\max \phi - \varepsilon \left( \sum_{j=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall i, r, j \quad (20)$$

En donde  $\varepsilon > 0$  es un elemento no Arquimedeano definido menor que cualquier número real positivo.

### 3.3.3- Tipos de orientación del Modelo DEA

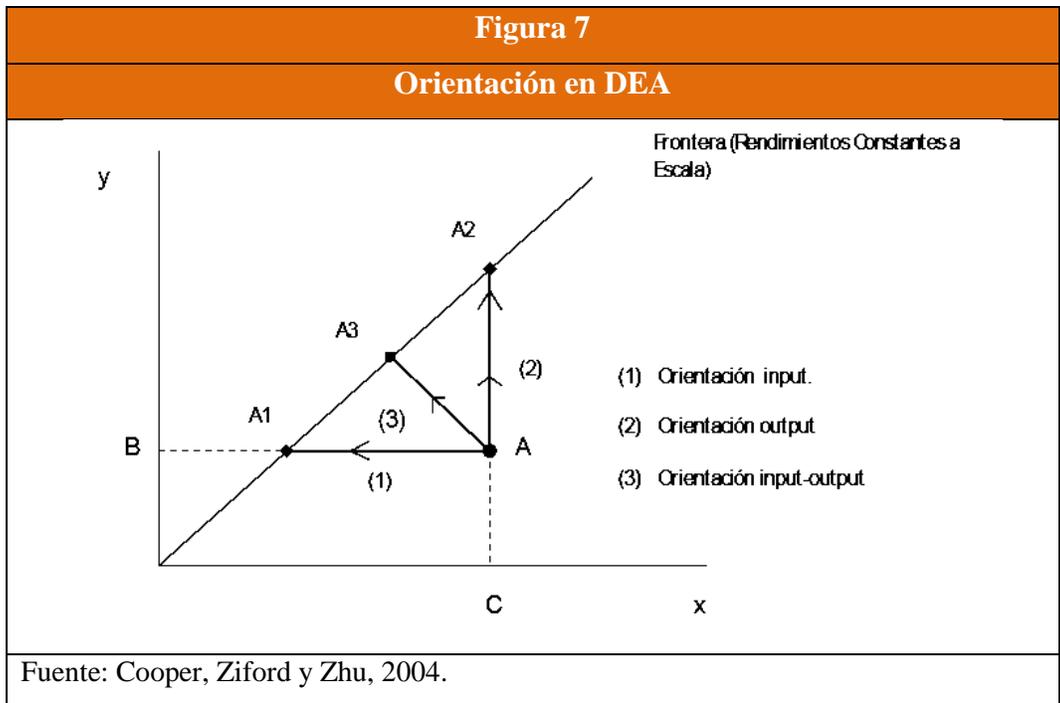
De acuerdo con Charnes, Cooper y Rhodes (1981), la eficiencia puede ser caracterizada con relación a dos orientaciones (o direcciones) básicas, pudiendo hacer referencias a modelos:

1. **Input orientado:** buscan, dado el nivel de *outputs*, la máxima reducción proporcional en el vector de *inputs* mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción.

2. **Output orientado:** buscan, dado el nivel de *inputs*, el máximo incremento proporcional de los *outputs* permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción.

Teniendo en cuenta las orientaciones definidas, una DMU será considerada eficiente sí, y solo sí, no es posible incrementar las cantidades de *output* manteniendo fijas las cantidades de *inputs* utilizadas ni es posible disminuir las cantidades de *inputs* empleadas sin alterar las cantidades de *outputs* obtenidas (Coll y Blasco, 2006).

En la figura 7 se ha representado, bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, el caso de un único *input* y un único *output*, y en ella puede verse cómo la DMU A es ineficiente técnicamente, se sitúa por debajo de la frontera.



Desde el punto de vista de un modelo *input* orientado, la DMU A podría reducir la cantidad de *input*  $x$  (los *inputs* son controlables) y seguir produciendo la misma cantidad de *output*  $y$ , es decir, la DMU A debería tomar como referencia la mejor práctica de la DMU  $A_1$ . La eficiencia (técnica) de la DMU considerada vendría dada por:

$$ET_A = BA_1 / BA \tag{21}$$

De igual forma, al considerar la evaluación de la eficiencia a través de modelos *output* orientados (los *outputs* son controlables), la DMU A sería calificada como ineficiente. Esta DMU podría, consumiendo la misma cantidad de *input*, producir una mayor cantidad de *output*. En este caso, la eficiencia de la DMU A vendría dada por el cociente:

$$ET_A = CA / CA_2 \quad (22)$$

Bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, las medidas de eficiencia técnica *input* y *output* orientadas coinciden (Coll y Blasco, 2006).

### **3.3.4.- Análisis *benchmarking***

Zhu (2009) menciona que, para mejorar el rendimiento, las organizaciones necesitan evaluar constantemente las operaciones o procesos relacionados con productos, servicios, marketing y otros. La evaluación del desempeño el *benchmarking* son un método ampliamente utilizado para identificar y adoptar mejores prácticas como un medio para mejorar el rendimiento y aumentar la productividad, y son particularmente valiosos cuando no hay un estándar objetivo o diseñado para definir un rendimiento eficiente y efectivo. Por esta razón, el *benchmarking* se utiliza a menudo en la gestión de operaciones de servicio, porque los estándares de servicio (puntos de referencia) son más difíciles de definir que los estándares de fabricación.

Los benchmarks se pueden establecer, pero son algo limitados, ya que trabajan con mediciones individuales de una en una. Es difícil evaluar el rendimiento de una organización cuando hay múltiples métricas de rendimiento relacionadas con un sistema u operación. Las dificultades se mejoran aún más cuando las relaciones entre las métricas de desempeño son complejas e implican compensaciones desconocidas. Es fundamental mostrar los benchmarks donde existen múltiples métricas de rendimiento (íbid).

### 3.3.5.- Análisis *slacks*

Ya que se ha obtenido un resultado de eficiencia igual a la unidad, Zhu (2009) menciona que se procederá a obtener de igual manera los resultados de ineficiencia, en este sentido algunos inputs pueden ser reducidos o algunos outputs expandidos.

Navarro (2005) hace hincapié en el problema de los *slacks*, mencionando que ha sido aclarado desde los primeros modelos DEA y se proporcionan dos posibles soluciones:

- Penalizar aquellos *slacks* usando un factor de penalización infinitesimal.
- Resolver el problema dual usando *inputs* y *outputs* positivos.

En la primera solución, el factor es lo suficientemente largo para reconocer los posibles *slacks* y lo suficientemente pequeño para no impactar en los resultados numéricos.

### 3.3.6.- Ventajas y desventajas del uso del modelo DEA

Al igual que todos los métodos dirigidos a medir la eficiencia, los modelos DEA presentan ventajas y limitaciones. Sin embargo, en este caso las limitantes que se identifican, son propias de las que experimentan tanto las técnicas econométricas como las de programación lineal paramétrica. Mientras que las ventajas de los modelos DEA superan muchas de las limitaciones que se tienen a través de la instrumentación de los números índices o de las propias técnicas econométricas, como es el caso de considerar múltiples *inputs* y *outputs* o la propia normalización de las variables (Navarro, 2005).

#### **Ventajas**

Dentro de las ventajas que tienen los modelos de frontera en su instrumentación se pueden mencionar los siguientes (Mercado *et al*, 1997 y Fuentes, 2003).

- Es la técnica que mayor información produce a partir de los datos de entrada y salida. Aporta información útil para la gestión (grupos de comparación, seguimiento de objetivos).
- Los requerimientos de información son mínimos, tanto en las entradas con en las salidas.
- La posibilidad de utilizar múltiples productos e insumos, al mismo tiempo que permite la introducción de insumos discrecionales y variables de entorno y la generalización del modelo para incorporar la opinión de expertos.
- La posibilidad de no cometer errores de especificación.
- Los modelos DEA emplean una medición radial que permite tener una interpretación directa del efecto que tiene la eliminación de la ineficiencia técnica sobre costos e ingresos, respectivamente.
- Es conceptualmente fácil de entender y su estructura matemática no requiere fundamentos más allá de la programación lineal.
- Puede ayudar a construir la información que requiere la técnica de Cobb-Douglas o 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: proveer de la máxima salida potencial que una empresa o conjunto de empresas es capaz de producir con un insumo dado.
- Los modelos DEA tienen la ventaja adicional de que brindan la versión dual del problema.
- Permite asumir rendimientos variables a escala y medir la eficiencia de escala, lo cual no es posible con los métodos paramétricos.

### **Desventajas**

Cómo desventajas en el uso del modelo DEA se muestra lo siguiente (ibíd.):

- El carácter determinístico de la medición.

- El número de empresas catalogadas como eficientes es sensible al número de insumos y/o productos empleados en la estimación. Complicación de obtener un análisis de sensibilidad del modelo.
- Extensión del análisis de indicadores.
- Alta influencia en la frontera de pertenencia a los grupos de comparación.

# CAPÍTULO 4

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS DEL *NETWORK* *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS*

---

En la presente investigación se utiliza un modelo *DEA Network* que incorpora la estructura simplificada en el modelo tradicional de DEA y mide la eficiencia a nivel de empresa o industria basada en las eficiencias divisionales estrechamente vinculadas.

### 4.1.- Conceptualización del modelo *DEA Network*

El modelo básico DEA como el CCR informa un puntaje de eficiencia basado en datos de *inputs* y *outputs*. Básicamente, los DMU's que usan pequeños *inputs* y producen grandes *outputs* se consideran eficientes en el modelo DEA. Sin embargo, generalmente se presume que el mecanismo entre la entrada y la salida está oculto en una "caja negra" (Tsutsui & Tone, 2007).

Färe y Grosskopf (1996,2000) fueron los primeros en introducir la estructura *Network* en el modelo DEA para examinar la estructura tecnológica oculta en la caja negra del modelo estándar DEA. El modelo *DEA Network* supone  $k$  nodos (actividades) dentro de la caja negra. En cada nodo, las entradas intermedias (y / o exógenas) se usan para producir salidas intermedias (y / o finales). Estos nodos se consideran subsecciones en las que se realizan diferentes actividades.

Tsutsui & Tone (2007) señalan que el modelo *DEA Network* es adecuado para evaluar DMU's con estructuras complicadas y jerárquicas. En el modelo de F & G, las actividades en los nodos están vinculadas por *inputs/outputs* intermedios; sin embargo, la intensidad de

la conectividad entre actividades no está restringida. Esto implica que la eficiencia de las subsecciones, es decir, la eficiencia divisional, es independiente entre sí. Se puede señalar que el enfoque de F&G es inadecuado para tener en cuenta la estructura estrechamente vinculada y simplificada de los servicios integrados verticalmente. Además, este modelo puede dar una buena puntuación a DMU's con rendimiento de eficiencia desequilibrado.

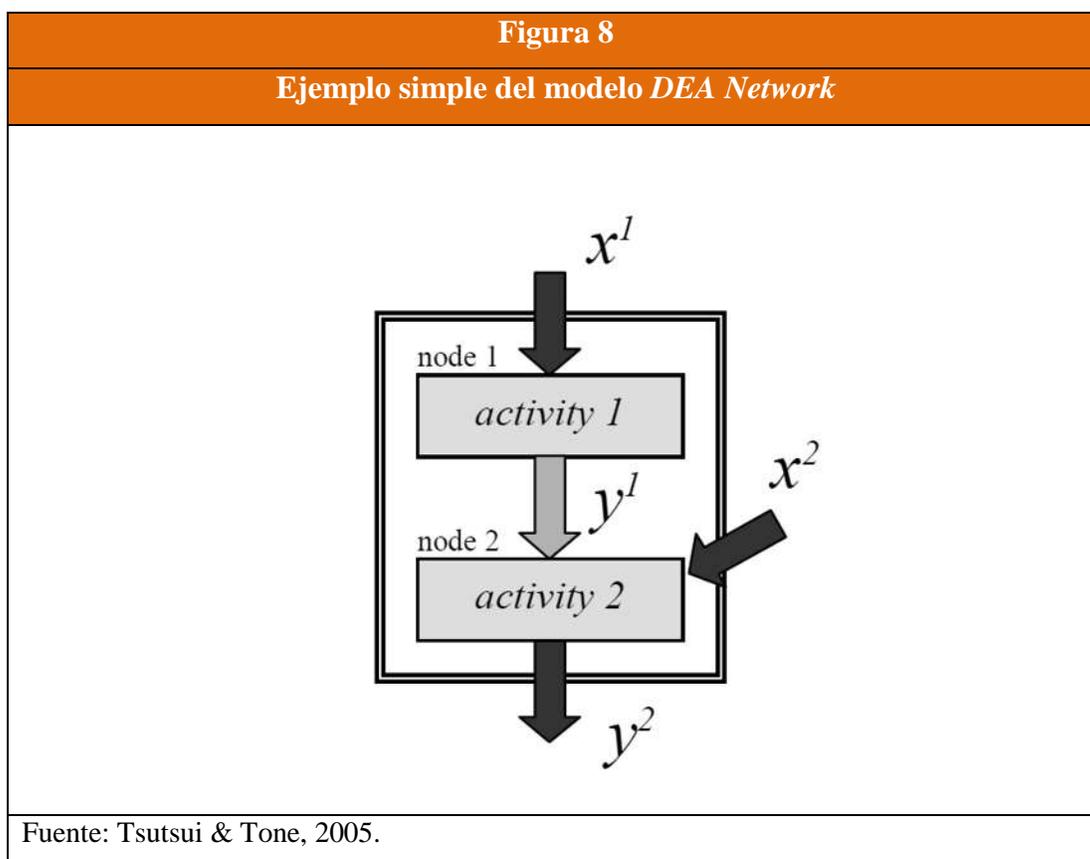
Otro modelo de *DEA Network* propuesto por Lewis y Sexton (2004) tiene una estructura de múltiples etapas como una extensión del modelo DEA de dos etapas propuesto en Sexton y Lewis (2003). Este estudio resuelve un modelo DEA para cada nodo de forma independiente. Para un modelo orientado a output, primero se resuelve un modelo DEA general para el nodo ascendente en la primera etapa para obtener la solución óptima de salidas. En la etapa siguiente, una parte de (o la totalidad de) los resultados óptimos obtenidos en el nodo ascendente se aplican como entradas intermedias al siguiente nodo. Después de resolver los modelos DEA para todos los nodos, se obtiene un *output* final óptimo en el último nodo. El puntaje de eficiencia a nivel de empresa se mide como el resultado óptimo final dividido por un producto observado. Al igual que en F&G, la intensidad de la conectividad entre actividades no está restringida en este modelo y se supone que las eficiencias divisionales son independientes entre sí.

#### **4.2.- Modelo matemático del *DEA Network***

El modelo de *DEA Network* introducido por F&G supone  $k$  nodos (actividades) dentro de la caja negra. En cada nodo, los *inputs* intermedios (y / o exógenas) se usan para producir *outputs* intermedios (y / o finales). En este modelo, se supone que el vector de intensidad  $\lambda$  se diferencia entre los nodos  $k$  ( $\lambda_k$ ). Significa que hay fronteras  $k$  en este modelo y las DMU eficientes en las fronteras son diferentes de nodo a nodo.

A continuación, se observa un ejemplo simple del modelo *DEA Network* (véase figura 8). En el modelo DEA tradicional, dos entradas exógenas  $X_1$  y  $X_2$  se utilizan para producir salidas finales  $Y_2$ , mientras que el modelo *DEA Network* representa los *outputs/inputs* intermedios.

Este ejemplo supone dos subsecciones y un *output* de la actividad 1 ( $y^1$ ) en el nodo 1 se usa como un *input* intermedio para la actividad 2 en el nodo 2.



En particular Färe y Grosskopf (2000), modelan las redes como el conjunto de restricciones o tecnologías referentes a los modelos DEA. Estos modelos han demostrado ser muy útiles para medir la eficiencia y productividad. El modelo *DEA Network* no es un modelo único, sino que pertenece a una familia de modelos, con la característica común de tener restricciones lineales. Färe y Grosskopf añaden un objetivo para estos modelos con el fin de transformarlas en medidas de desempeño del DEA.

Por lo tanto, se asume que hay  $k = 1, \dots, K$  Unidades de Toma de Decisiones(DMU's) y observaciones de *inputs* y *outputs*  $(X^k, y^k) = (X_{k_1}, \dots, X_{k_n}, y_{k_1}, \dots, y_{k_m})$ . Los coeficientes  $(X_{kn}, y_{km})$   $n = 1, \dots, N$   $m = 1, \dots, M$ ,  $k = 1, \dots, k$  están obligados a satisfacer ciertas propiedades (Färe y Grosskopf, 2000).

Para formular el modelo DEA de los datos  $(X^k, y^k)$ , necesitamos introducir variables de intensidad  $z^k$   $k = 1, \dots, K$ , una para cada observación o actividad  $k$ . Estas variables no negativas nos dicen en qué medida una DMU particular, está involucrada en la producción de *outputs*. El modelo básico, escrito en términos de un conjunto de *outputs*, es (ibíd.):

$$P(x) = \left\{ (y_1, \dots, y_M) : y_m \leq \sum_{k=1}^K z_k y_{km}, m = 1, \dots, M, \sum_{k=1}^K z_k x_{kn} \leq x_n, n = 1, \dots, N, z_k \geq 0, k = 1, \dots, K. \right\} \quad (1)$$

A pesar de que satisface ciertas propiedades, tales como rendimientos constantes a escala y libre disponibilidad de *inputs* y *outputs*, nada en particular se puede decir a priori acerca de su estructura interna. Por ejemplo, no se puede determinar que *inputs* se asignan a la producción de los diferentes *outputs*, o si se producen productos intermedios.

Este modelo fijo, pero de entradas asignativas, ofrece una idea de cómo los *inputs* pueden ser compartidos por diferentes procesos, aquí modelados por dos conjuntos de *outputs*  $p^1$  y  $p^2$ . Por simplicidad, se asume que solo el primer *input* puede ser asignado entre dos procesos o nodos y que los demás son pre asignados a un proceso específico para cada DMU. Aquí los superíndices se refieren al proceso,  $p^1$  y  $p^2$ . En este caso, el modelo heurístico puede formalizarse de la siguiente manera (ibíd.):

$$\mathfrak{B}(x_1^1, x_2^1, \dots, x_N^1, x_2^2, \dots, \{x_N^2\}) = (y^1 + y^2) = \sum_{m=1}^M (y_m^1 + y_m^2) : y_m^1 \leq \sum_{k=1}^K z_k^1 + y_{km}^1, m = 1, \dots, M, \sum_{k=1}^K z_k^1 y_{k1}^1 \leq x_1^1, \sum_{k=1}^K z_k^1 y_{kn}^1 \leq x_n^1, n = 2, \dots, N, z_k^1 \geq 0, k = 1, \dots, K, y_m^2 \leq \sum_{k=1}^K z_k^2 y_{km}^2, m = 1, \dots, M, \sum_{k=1}^K z_k^2 y_{k1}^2 \leq z_1^2, \sum_{k=1}^K z_k^2 y_{k1}^2 \leq z_1^2, \sum_{k=1}^K z_k^2 x_{kn}^2 \leq x_n^2, n = 2, \dots, N, z_k^2 \geq 0, k = 1, \dots, K, x_1^1 + x_1^2 \leq x_1 \} \quad (2)$$

La principal diferencia entre los modelos (1) y (2) es que en el (2) la asignación del primer input  $x_1$  entre los dos subprocesos no se da a priori como los otros inputs  $x_2^1, \dots, x_N^1, x_2^2, \dots, x_N^2$ . Por el contrario, sólo se requiere que la asignación a través de subprocesos sea factible, que es la interpretación de la última desigualdad en (2). El modelo en (1) no

prevé dicha asignación, ya que puede ser visto como una agregación de (2) que oscurece los subprocesos (Färe y Grosskopf, 2000).

Todo el modelo en red incluye productos intermedios e *inputs* asignados. Un producto es intermedio en el sistema de producción si este es producido y consumido, es decir, este es tanto un *output* como un *input* dentro de la red. Por supuesto que no todos los bienes intermedios son necesariamente consumidos o utilizados en el seno de la red; ya que pueden ser también *outputs* finales. Una vez más, las piezas de repuesto podrían ser un ejemplo típico de esto último (*ibíd.*).

La red se ilustra de mejor manera en la figura 8, la cual tiene tres subprocesos productivos, una fuente y una salida, que da un total de cinco nodos (0, ...,4). Cabe destacar que el total de *inputs* (exógenos) disponibles por  $x$  y  ${}_0^1x, i = 1,2,3$  denotan la cantidad del vector de *inputs* (exógenos) que se asigna al nodo  $i$  (*ibíd.*).

La fuente de los nodos del modelo, se encuentra restringida por la asignación de los *inputs* exógenos; en particular:

$$x \geq \sum_{i=1}^3 {}_0^i x \text{ ó } x_n - {}_0^1x_n + {}_0^2x_n + {}_0^3x_n \leq x_n, \quad n = 1, \dots, N \quad (3)$$

Denote que el vector de outputs producidos por subprocesos o subtecnología  $i$  y entregado al nodo  $j$  por  ${}_j^i y$ . El total de la producción del nodo 1 por ejemplo, es de  ${}_1^3y + {}_1^4y$  donde  ${}_1^3y$  es su *output* de productos intermedios y  ${}_1^4y$  es su *output* final. El nodo 1 no utiliza ningún producto intermedio como *input*.

El nodo o subproceso 3 sin embargo, usa *inputs* para el nodo 1 ( ${}_1^3y$ ) y para el nodo 2 ( ${}_2^3y$ ) también como *input* exógeno  ${}_0^3y$ . Este nodo produce un solo *output* final  ${}_3^4y$ . La salida del nodo 4, dado que cada subtecnología produce distintos vectores *outputs*  ${}_j^4y \in \mathbb{R}_+^M, j = 1,2,3$ , donde  $M = M^1 + M^2 + M^3$ . Puede ser escrito como (*ibíd.*):

$$y = ({}_1^4y, {}_2^4y, {}_3^4y) \quad (4)$$

Si no se insiste que cada nodo produce distintos *outputs*, el total de la producción puede ser escrita como la suma de los *outputs* de los nodos individuales  $\sum_{j=1}^3 {}^4_j y$ . El número apropiado de nodos debe ser añadido.

La tecnología DEA asociada con  $k = 1, \dots, k$  observaciones puede ser escrita en términos del conjunto de *outputs* como:

$$\text{Nodo 1} \left\{ \begin{array}{l} \text{(a)} \quad ({}^3_1 Y_m + {}^4_1 Y_m) \leq \sum_{k=1}^k z_k^1 ({}^3_1 Y_{km} + Y_{km}), m = 1, \dots, M^1, \\ \text{(b)} \quad \sum_{k=1}^k z_k^1 x_{kn} \leq {}^1_0 x_n, n = 1, \dots, N, \\ \text{(c)} \quad z_k^1 \geq 0, k = 1, \dots, K \end{array} \right.$$

$$\text{Nodo 2} \left\{ \begin{array}{l} \text{(d)} \quad ({}^3_2 y_m + {}^4_2 y_m) \leq \sum_{k=1}^k z_k^2 ({}^3_2 y_m + {}^4_2 y_m), m = 1, \dots, M^2, \\ \text{(e)} \quad \sum_{k=1}^k z_k^2 x_{kn} \leq {}^2_0 x_n, n = 1, \dots, N, \\ \text{(f)} \quad z_k^2 \geq 0, k = 1, \dots, K \end{array} \right.$$

$$\text{Nodo 3} \left\{ \begin{array}{l} \text{(g)} \quad {}^4_3 y_m \leq \sum_{k=1}^k z_k^3 {}^4_3 y_{km}, m = 1, \dots, M^3, \\ \text{(h)} \quad \sum_{k=1}^k z_k^3 x_{kn} \leq {}^3_0 x_n, n = 1, \dots, N, \\ \text{(i)} \quad \sum_{k=1}^k z_k^3 {}^3_1 y_{km} \leq {}^3_1 y_m, m = 1, \dots, M^1, \\ \text{(j)} \quad \sum_{k=1}^k z_k^3 {}^3_2 y_{km} \leq {}^3_2 y_m, m = 1, \dots, M^2, \\ \text{(k)} \quad z_k^3 \geq 0, k = 1, \dots, K \end{array} \right.$$

$$\text{Distribución de} \left\{ \begin{array}{l} \text{(l)} \quad {}^1_0 x_n + {}^2_0 x_n + {}^3_0 x_n \leq x_n \quad n = 1, \dots, N \end{array} \right.$$

*Inputs exógenos*

(5)

En el modelo en red (5), se puede identificar tres subtecnologías. La primera  $\mathfrak{B}^1({}_0^1x)$ , es dada por (a)-(c), la segunda  $\mathfrak{B}^2({}_0^2x)$ , por (d) – (f) y la tercera  $\mathfrak{B}^3({}_0^3x, {}_1^3y, {}_2^3y)$ , consiste en las expresiones (g) – (k). Una comparación del modelo de análisis de la actividad estándar (1) con el modelo en red (5) muestra que el primero tiene un conjunto de variables de intensidad mientras que el segundo tiene tres conjuntos de tales variables. Por otra parte  $\mathfrak{B}(x)$  tiene un nodo de distribución que permite estudiar la distribución óptima de los *inputs* exógenos entre subtecnologías, mientras que el modelo estándar no lo hace. Färe y Grosskopf, (1996), muestran que si la subtecnología  $P^j, j = 1, 2, 3$ , satisfacen las propiedades tales como libre desechabilidad de *inputs* y *outputs* y retornos constantes a escala, entonces, así también lo hará la tecnología de red (5).

De acuerdo con Kao (2007), el modelo *DEA Network* CRS asume que todas las DMU’s operan bajo la misma escala de operaciones y, por lo tanto, requieren el mismo nivel de esfuerzo para lograr la eficiencia. Por otro lado, el modelo VRS se obtiene insertando la restricción de convexidad en las ecuaciones 3, 4 y 5. En otras palabras, si imponemos dicha restricción de convexidad a su forma envolvente, se asume entonces, un rendimiento variable a escala.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 = 1$$

$$\text{Nodo 1} \left\{ \begin{array}{l} ({}^3_1Ym + {}^4_1Ym) \leq \sum_{k=1}^k z_k^1 ({}^3_1Ykm + Ykm), m = 1, \dots, M^1, \\ \sum_{k=1}^k z_k^1 {}^1_0x_{kn} \leq {}^1_0x_n, n = 1, \dots, N, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 = 1 \\ z_k^1 \geq 0, k = 1, \dots, K \end{array} \right.$$

$$\text{Nodo 2} \left\{ \begin{array}{l} ({}^3_2ym + {}^4_2ym) \leq \sum_{k=1}^k z_k^2 ({}^3_2ym + {}^4_2ym), m = 1, \dots, M^2, \\ \sum_{k=1}^k z_k^2 {}^2_0x_{kn} \leq {}^2_0x_n, n = 1, \dots, N, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 = 1 \\ z_k^2 \geq 0, k = 1, \dots, K \end{array} \right.$$

$$\text{Nodo 3} \left\{ \begin{array}{l}
 {}^4_3y_m \leq \sum_{k=1}^k z_k^3 {}^4_3y_{km}, m = 1, \dots, M^3, \\
 \sum_{k=1}^k z_k^3 {}^3_0x_{kn} \leq {}^3_0x_n, n = 1, \dots, N, \\
 \sum_{k=1}^k z_k^3 {}^3_1y_{km} \leq {}^3_1y_m, m = 1, \dots, M^1, \\
 \sum_{k=1}^k z_k^3 {}^3_2y_{km} \leq {}^3_2y_m, m = 1, \dots, M^2, \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 = 1 \\
 z_k^3 \geq 0, k = 1, \dots, K
 \end{array} \right.$$

Como se puede observar, en el presente modelo matemático, se aplica la restricción de convexidad en su forma envolvente lo cual proporciona rendimientos variables a escala con los cuales se desarrolla el modelo para la industria petrolera internacional.

# **PARTE III**

## **DESARROLLO METODOLÓGICO**

# CAPÍTULO 5

## EL ANÁLISIS DE LA ENVOLVENTE DE DATOS Y EL *NETWORK*: ESTUDIOS DE CASO

---

En el presente capítulo se revisarán los trabajos previos, realizados mediante el uso de la metodología *Data Envelopment Analysis*, así como los primeros acercamientos mediante el *DEA Network* para el estudio de la eficiencia en la industria petrolera tanto nacional como en el contexto internacional.

### **5.1.- Acercamientos del análisis DEA en la industria petrolera**

Si bien el análisis DEA es relativamente nuevo en el campo de la investigación científica, ya existen algunos estudios sobre la eficiencia en el campo de la industria petrolera. Concretamente se encuentra un estudio para el caso de la industria petrolera en México y cinco respecto a la industria petrolera en otros países como es el caso de Japón, Estados Unidos y Brasil.

Sin embargo, todos estos casos no analizan la eficiencia total de la industria petrolera correspondiente a cada país en su conjunto a manera de integración vertical o bien en toda su cadena de valor, tomando en cuenta desde el proceso de extracción hasta llegar al punto de comercializarlo, pasando previamente por el proceso de transformación de los productos extraídos y la logística que estos conllevan.

Los estudios que se han realizado previamente sobre la industria petrolera van encaminados a la eficiencia del ingreso, eficiencia para la reestructuración, la eficiencia en refinerías, eficiencia en el medio ambiente a causa de la contaminación de la industria etc.

A continuación, se muestra la tabla 6 con la revisión literaria respecto a los estudios previos sobre la eficiencia en la industria petrolera mediante el análisis DEA.

<b>Tabla 6</b>				
<b>Revisión literaria de la industria petrolera mediante el uso del análisis DEA</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AÑO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>ORIENTACIÓN</b>
The revenue efficiency of PEMEX: a comparative approach.	2011	Peter R. Hartley, Ph.D./ Kenneth B. Medlock III, PH.D.	Data Envelopment Analysis (DEA)/ Stochastic Frontier Analysis (SFA)	Input
Data envelopment analysis for environmental assessment: Comparison between public and private ownership in petroleum industry.	2012	Toshiyuki Sueyoshi/ Mika Goto	DEA	Good/Bad outputs
Multinational operation, ownership and efficiency differences in the international oil industry	2017	Kwaku Ohene-Asare/ Charles Turkson	DEA	Input
DEA Environmental Assessment on US Petroleum Industry: Non-radial Approach with Translation Invariance in Time Horizon.	2018	Toshiyuki Sueyoshi/ Derek Wang	DEA	Input
Efficiency in Brazilian Refineries Under Different DEA Technologies	2012	Claudia Aparecida Cavalheiro Francisco/ Mariana Rodrigues de Almeida	DEA	Bad outputs
Stochastic DEA for restructure strategy: an application to a Japanese petroleum company	2000	Toshiyuki Sueyoshi	DEA future model	Input

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

Dentro de la revisión literaria que se realizó sobre el uso del análisis DEA en la industria petrolera, destaca el realizado para el caso de México titulado “La eficiencia de ingresos de PEMEX: un enfoque comparativo” en el 2011 por los autores Peter R. Hartley, y Kenneth B. Medlock.

Los autores señalan que la industria petrolera mexicana tiene un papel muy importante en la economía de México, y que sobre todo juega un papel muy importante en las relaciones comerciales entre México y Estados Unidos. Sin embargo, señalan que, debido a la caída en la producción petrolera y el aumento en la demanda de este producto a nivel mundial, México se ha convertido en un importador neto de derivados petroleros en la última década. Por lo tanto, pretenden con su investigación promover una mejor comprensión sobre los retos que enfrenta México en el sector petrolero mediante el análisis de ciertos factores.

Los inputs que utilizaron para realizar el estudio de eficiencia fueron los siguientes:

- Porcentaje de control por parte del gobierno
- Reservas de petróleo
- Reservas de gas natural
- Capacidad de refinación
- Número de empleados
- Ingresos petroleros
- Ingresos por empleado
- Porcentaje de integración vertical

Los autores concluyen que la industria petrolera en México ha sido cada vez menos eficiente en cuanto a sus ingresos se refiere conforme pasa el tiempo en un periodo de estudio de 2001-2009.

El segundo artículo que se presenta y se analiza es “Análisis envolvente de datos para la evaluación del entorno: Comparación entre la propiedad pública y privada en la industria del petróleo” de Toshiyuki S. y Mika G. (2012). Este estudio propone los tres tipos de unificación para la evaluación del entorno con el modelo DEA mediante el uso de modelos DEA no radiales.

La primera unificación considera tanto un aumento como una disminución en el vector de entrada junto con una disminución en el vector de dirección de salidas indeseables. Este tipo de unificación mide la "eficiencia unificada". La segunda unificación considera una disminución en un vector de entrada junto con una disminución en el vector de salidas no deseadas. Este tipo de unificación se conoce como "desechabilidad natural" y mide la "eficiencia unificada bajo desechabilidad natural". La tercera unificación considera un aumento en un vector de entrada, pero una disminución en el vector de salidas indeseables.

Este estudio identifica dos hallazgos importantes en la industria del petróleo. Uno de los dos hallazgos es que las compañías petroleras nacionales bajo propiedad pública superan a las compañías petroleras internacionales bajo propiedad privada en términos de eficiencia unificada (operativa y ambiental) y eficiencia unificada bajo disposición natural. Sin embargo, el desempeño de las compañías petroleras internacionales muestra una tendencia creciente en la eficiencia unificada. El otro hallazgo es que las compañías petroleras nacionales deben satisfacer el estándar del entorno de su propio país, mientras que las petroleras internacionales deben satisfacer el estándar internacional que es más restringido que los estándares nacionales. Como consecuencia, las compañías petroleras internacionales superan a las petroleras nacionales en términos de eficiencia unificada bajo disposición empresarial.

Dentro de la revisión literaria, de igual manera destaca el estudio desarrollado por Ohene-Asare, Turkson y Afful-Dadzie (2017) denominado "Operaciones multinacionales, diferencias de propiedad y de eficiencia en la industria petrolera internacional".

Este estudio evalúa los efectos de las operaciones multinacionales en el desempeño de las empresas petroleras. Los autores señalan que esto solo se logra comparando las eficiencias productivas y de escala de las compañías petroleras estatales y privadas, así como las multinacionales estatales y las multinacionales privadas. Un conjunto de datos de 50 firmas cada año, desde 2001 hasta 2010, revela que, aunque la operación multinacional es importante para reducir las ineficiencias productivas de las empresas estatales, no mitiga las ineficiencias de escala de las empresas estatales. Por lo tanto, las empresas estatales deberían hacer de las operaciones multinacionales una dirección política clave, ya que esto

proporcionará una agenda transformadora para competir por igual con sus contrapartes privadas.

El estudio llamado “Eficiencia en refinerías brasileñas bajo diferentes tecnologías DEA” de Rodrigues de Almeida y Ribeiro da Silva (2012) es importante de resaltar debido a que hace un análisis a detalle dentro del proceso de transformación en la industria petrolera, lo que corresponde a la refinación de dicho producto.

Dicho estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de las refinerías en el sector público con énfasis en los efluentes generados y el consumo de agua en el proceso de producción. Para llevar a cabo esta investigación, el método abordado fue cuantitativo con un enfoque cualitativo de los aspectos ambientales de las variables controlables e incontrolables implementadas en dos modelos clásicos de análisis de envoltorio de datos, considerando solo resultados deseables y dos modelos de DEA que incluyen resultados no deseables obteniendo como resultado la clara importancia de la variable ambiental para un análisis más realista del proceso de producción.

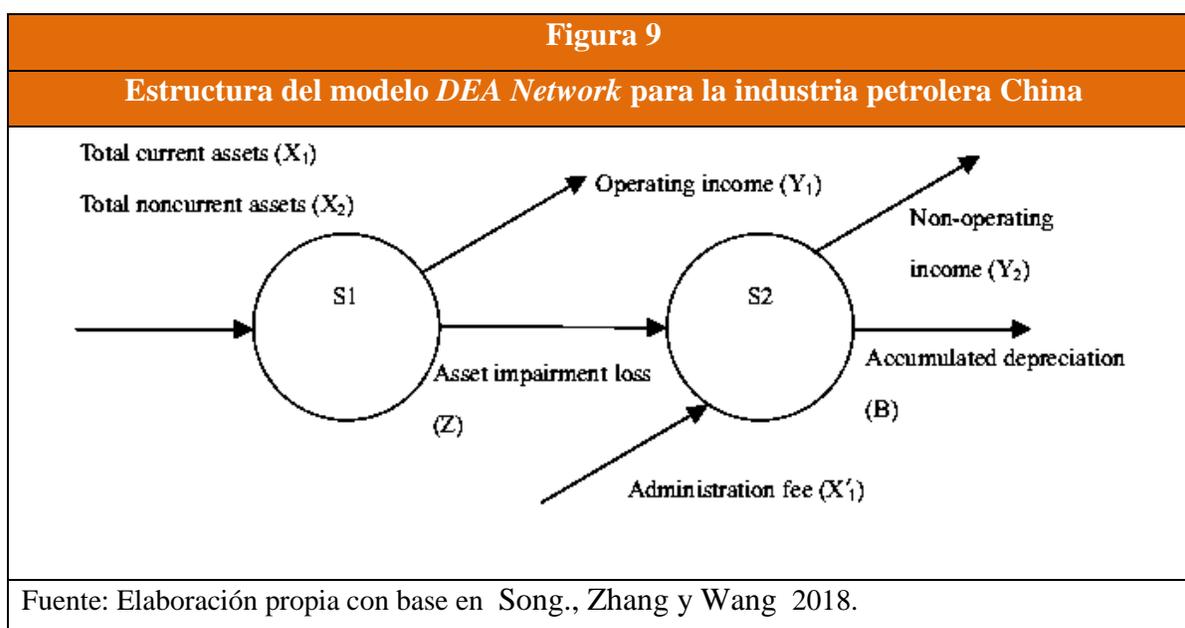
Hasta este momento, se ha analizado, revisado y destacado dentro de la revisión literaria los aspectos más importantes dentro del estudio de la industria petrolera mediante el uso del análisis DEA.

## **5.2.- Acercamientos del análisis *DEA Network* en la industria petrolera**

Para el estudio de la eficiencia de la industria petrolera mediante el uso del análisis *DEA Network*, no se han encontrado trabajos como tal que hagan referencia al análisis desde la perspectiva de la eficiencia total en toda la cadena de valor de la industria petrolera de un país o conjunto de países.

El estudio más cercano sobre la industria petrolera aplicando el modelo *DEA Network* corresponde a los autores Song M., Zhang J. y Wang S. realizado en el 2013 y titulado “Revisión de las eficiencias ambientales de la red de empresas petroleras en China”. Este estudio utiliza la metodología *DEA Network* para examinar los cambios en la producción y la eficiencia ambiental entre 20 empresas petroleras cotizadas en China.

Los *DMU's*, inputs y outputs que utiliza para establecer su modelo se pueden apreciar en la figura 9 a continuación:



En este estudio, los autores crearon un conjunto de modelos *DEA Network* que se pueden usar para dividir los puntajes de eficiencia en dos subunidades, lo que brinda resultados más precisos. Este enfoque puede ayudar a abrir la "caja negra" de la medición de la eficiencia y ayudar a determinar las ventajas y desventajas de varias subunidades en cada unidad de toma de decisiones. Este estudio utiliza los modelos recientemente presentados para examinar los cambios en la producción y la eficiencia ambiental entre 20 empresas petroleras registradas en China. Estos exámenes se llevan a cabo etapa por etapa utilizando las cadenas de producción detalladas de las empresas del período 2006–2011. Además, este estudio analiza los excedentes de insumos y los déficits de producción a partir de 2011. Los resultados del uso de este enfoque (que busca mejorar la eficiencia insumo-producto de las empresas) pueden considerarse útiles para mejorar la tecnología y la eficiencia de gestión de las empresas petroleras.

Si bien, esta propuesta sobre el uso del modelo *DEA Network* en la industria petrolera no es lo que realmente se desea, bien sirve como un primer acercamiento del modelo a dicha

industria, para entender la forma en que pueden operar los *DMU*'s inputs, outputs y los denominados Inputs intermedios.

## CAPÍTULO 6

# ***NETWORK DATA ENVELOPMENT ANALYSIS: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN MÉXICO***

---

En el presente capítulo, se muestra el desarrollo metodológico del *Network Data Envelopment Analysis* aplicado a la industria petrolera tanto en México como en los principales países petroleros para determinar la eficiencia total de esta industria.

### **6.1.- Selección y establecimiento de los DMU's, nodos e indicadores**

Los nodos, los cuales igual se pueden entender como las variables independientes del estudio y los indicadores elegidos para establecer el modelo que medirá la eficiencia de la industria petrolera de México y de los principales países petroleros en el periodo 2010-2017 se diseñaron a partir de la revisión de la literatura de la propia industria petrolera, desde la revisión de anuarios estadísticos de cada país y cada año, así como de la propia investigación que se ha desarrollado hasta el momento en distintos organismos internacionales encargados del estudio de dicha industria. De igual manera se hizo una revisión exhaustiva de artículos científicos referentes a la industria petrolera para poder corroborar la información obtenida de la evidencia empírica.

Para desarrollar el modelo *DEA Network* y medir la eficiencia de la industria petrolera de México y de los principales países petroleros en el periodo 2010-2017, se seleccionaron a los principales países en términos de producción petrolera, del mismo modo se eligieron en base a la disponibilidad de los datos. Se descartaron países productores petroleros importantes

como Arabia, Irán e Irak debido a que no contaban con la información disponible suficiente para llevar a cabo la investigación.

Por lo tanto, los países que van a representar a los DMU's del modelo son los siguientes:

- México
- Rusia
- Estados Unidos
- Canadá
- Brasil
- China
- Angola
- Reino Unido
- España
- Francia
- Países Bajos
- Kuwait
- Venezuela
- Kazajistán
- Emiratos Árabes Unidos
- Argelia

Una vez identificados los DMU's, se procede a identificar y establecer los nodos que van a conformar el modelo *DEA Network*. De acuerdo a la revisión exhaustiva tanto de la literatura de la industria petrolera como de la literatura científica, se identifican tres principales nodos, los cuales son los siguientes:

- Exploración y Producción
- Transformación Industrial
- Comercialización

El primer nodo que se establece es el de Exploración y Producción, este nodo se encarga de los estudios y de las actividades exploratorias, administración de pozos, reservas descubiertas y desarrollos de campos de producción.

Los *inputs* y *outputs* que se utilizan para el nodo de Exploración y Producción son los siguientes:

- *Inputs*
  - Reservas petroleras (Mb/d)
  - Mano de obra (No. Empleados)
  - Plataformas activas (No. Plat)
- *Outputs*
  - Precio promedio por barril producido (\$/bl)
  - Barriles de petróleo producidos (Mb/d) (*Output* intermedio)

El segundo nodo es el Transformación industrial. En este nodo se encuentra todo lo referente a los procesos de refinación, transformación y procesamiento del crudo una vez ya extraído y producido.

Los *inputs* y *outputs* utilizados para el nodo de Transformación industrial son los siguientes:

- *Inputs*
  - Barriles de petróleo producidos (Mb/d)
  - Mano de obra (No. Empleados)
  - Capacidad máxima de refinación por país (Mb/d)
- *Outputs*
  - Rendimiento promedio de las refinerías por país (Mb/d)
  - Producción de productos derivados del petróleo (Mb/d) (*Output* intermedio)

El tercer y último nodo es el de Comercialización. En este nodo se encuentra todo lo referente a la comercialización tanto del crudo como de los derivados del petróleo.

Los *inputs* y *outputs* utilizados para el nodo de Comercialización son los siguientes:

- *Inputs*

- Barriles de petróleo producidos (Mb/d)
- Producción de productos derivados del petróleo (Mb/d)
- Mano de obra (No. Empleados)
  
- *Outputs*
  - Exportaciones de petróleo crudo (Mb/d)
  - Exportaciones de productos derivados del petróleo (Mb/d)
  - Ventas totales (Millones Dls)

De esta manera quedan, entonces, conformados los DMU's, nodos e indicadores que van a formar el modelo *DEA Network* para medir la eficiencia de la industria petrolera de México y de los principales países petroleros a nivel internacional en el periodo 2010-2017.

A continuación, se realiza la validación de los *inputs* y *outputs* seleccionadas para comprobar el grado de influencia que tienen unas con otras.

## **6.2.- Aplicación de análisis factorial para la validación de los *inputs* y *outputs***

En el presente apartado se pretende analizar y darle validez a las variables anteriormente seleccionadas para ver el grado de correlación que estas tienen. Para realizar este proceso, se utilizará la técnica de análisis factorial.

De acuerdo con De la Fuente (2011), el análisis factorial es una técnica de reducción de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de variables. Por otra parte, Montoya (2007), señala que el análisis factorial es una técnica utilizada para descubrir agrupaciones de variables de tal forma que las variables de cada grupo están altamente correlacionadas.

El modelo matemático para realizar el análisis factorial supone que cada una de las  $p$  variables observadas es función de un número  $m$  factores comunes ( $m < p$ ) más un factor específico o único. Tanto los factores comunes como los específicos no son observables y su determinación e interpretación es el resultado del análisis factorial.

Supondremos un total de  $p$  variables observables tipificadas y la existencia de  $m$  factores comunes.

El modelo se define de la siguiente forma:

$$X_1 = 1_{11} F_1 + 1_{12} F_2 + 1_{1m} F_m + e_1$$

$$X_2 = 1_{21} F_1 + 1_{22} F_2 + 1_{2m} F_m + e_2$$

...

$$X_p = 1_{p1} F_1 + 1_{p2} F_2 + 1_{pm} F_m + e_p$$

Que podremos expresar de forma matricial como:  $X = Lf + e$  donde:

- $X$  es el vector de las variables originales.
- $L$  es la matriz factorial. Recoge las cargas factoriales o (saturaciones).
- $l_{jh}$  es la correlación entre la variable  $j$  y el factor  $h$ .
- $f$  es el vector de factores comunes.
- $e$  es el vector de factores únicos.

Una vez teniendo claro en que consiste la técnica de análisis factorial, se procede a ingresar las variables al software IBM SPSS Statistics 21 obteniendo los siguientes resultados como se observa en la tabla 7

<b>Tabla 7</b>	
<b>KMO y prueba de Bartlett</b>	
Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.	.688
Chi-cuadrado aproximado	152.439
Prueba de esfericidad de Bartlett	28
Sig.	.000

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos de SPSS.

En la tabla 7 se puede observar el test de esfericidad de Bartlett el cual debe de encontrarse por debajo de 0.05 para establecer que las variables están correlacionadas. Para el caso de las variables presentadas de la industria petrolera el análisis presenta una significancia de 0.000, lo cual indica que la matriz de datos es válida para continuar con el proceso de análisis factorial.

El siguiente análisis a tomar en cuenta en la tabla 7 es el índice de Kaiser – Meyer –Olkin (KMO), que sirve para comparar las magnitudes de los coeficientes de correlación general o simple con respecto a las magnitudes de los coeficientes de correlación parcial. Esta prueba señala que, los valores de KMO entre 0.5 y 1 indican que es apropiado aplicar el análisis factorial a la matriz de datos. En el caso de la matriz de datos de la industria petrolera, se obtuvo un KMO de 0.688, lo que indica que las variables tomadas para el estudio son apropiadas y por lo tanto se puede continuar con la aplicación del análisis factorial.

En la tabla 8 se observa el comportamiento y grado de significancia de las variables analizadas mediante el método de extracción de análisis de componentes principales.

<b>Tabla 8</b>		
<b>Análisis de componentes principales</b>		
<b>Variab</b>	<b>Inicial</b>	<b>Extracción</b>
Resvpet	1.000	.978
manoep	1.000	.865
platac	1.000	.979
brprodenlace	1.000	.851
manot	1.000	.891
cmaxref	1.000	.975
prodpetrenlace	1.000	.945
manoc	1.000	.928

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos de SPSS.

Como se puede observar en la tabla 8, mediante el método de extracción de análisis de componentes principales el cual consiste en estimar las puntuaciones factoriales mediante las puntuaciones tipificadas de los primeros  $k$  componentes y la matriz de cargas factoriales mediante las correlaciones de las variables originales con dichos componentes, todas las variables están por arriba de 0.5, cerca del 1, lo que significa que todas las variables son significativas para el modelo, por lo tanto, no hay que descartar ninguna.

A continuación, se muestra la tabla 9, la cual presenta como prueba final la varianza total explicada respecto a las variables seleccionadas.

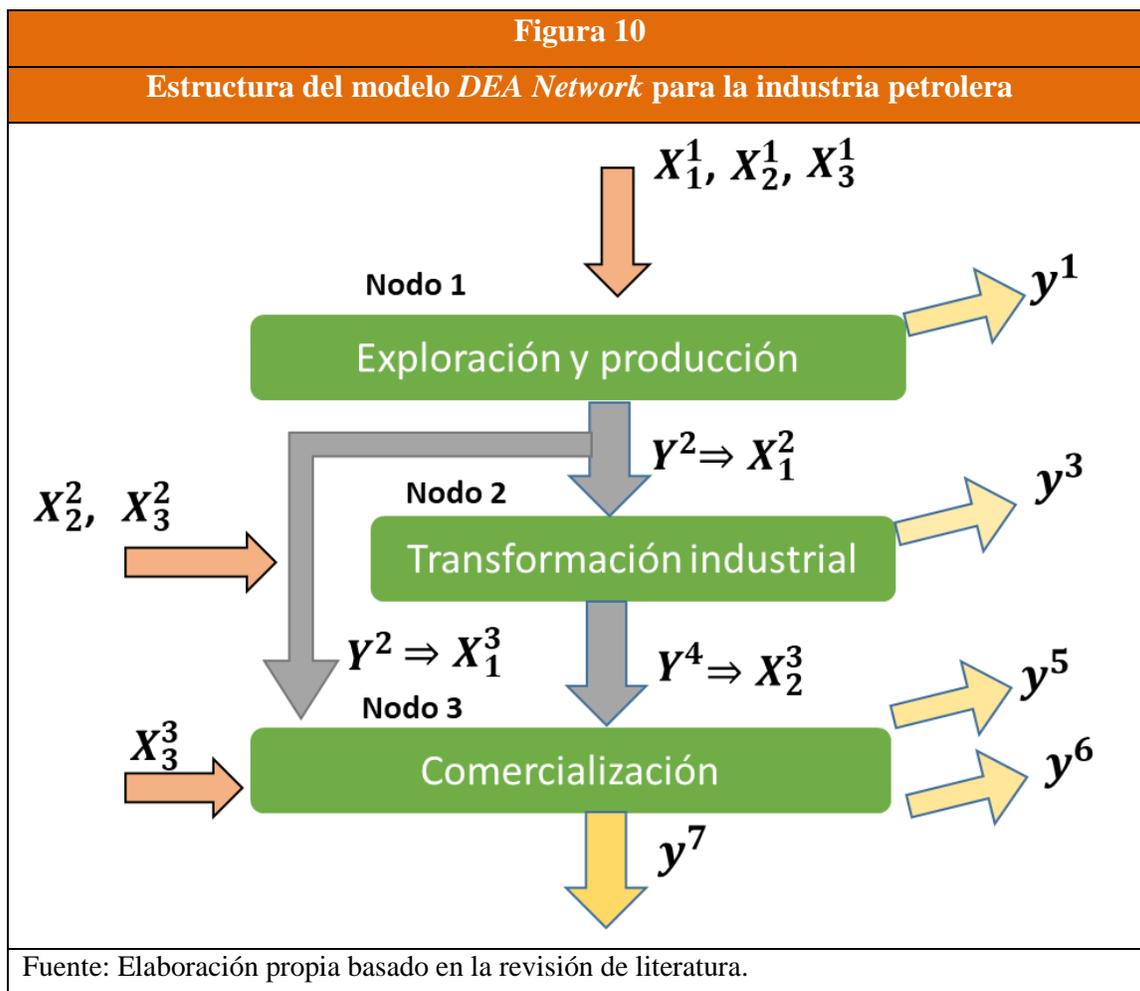
<b>Tabla 9</b>	
<b>Varianza total explicada</b>	
Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación	92.660
% Acumulado	
Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos de SPSS.	

La tabla 9 señala la varianza total explicada. Se observa por lo tanto que las variables seleccionadas explican el 92.660% de la varianza, esto quiere decir que, con estas variables, se puede representar un 92.660% del problema original, produciéndose la pérdida de tan solo el 7.34% de la información original representada por las variables iniciales.

De esta manera, se puede concluir que las variables seleccionadas (tanto *inputs* como *outputs*) para el diseño del modelo *DEA Network* para medir la eficiencia de la industria petrolera en México y en los principales países petroleros a nivel internacional periodo 2010-2017, son las indicadas y tienen el grado de significancia correcto para ser utilizadas.

### 6.3.- Estructura y operacionalización del modelo *DEA Network* en la industria petrolera.

En el presente estudio, la estructura vertical de la industria petrolera tanto de México como de cada país seleccionado se define como se describe en la Figura 5. Dicha propuesta de estructura se plantea principalmente, a partir los estudios sobre la metodología del *DEA Network* de Tsutsui y Tone (2005). Para la estructura y operacionalización propuesta se plantean tres nodos ( $k = 3$ ), que implican las divisiones de exploración y producción, transformación industrial y comercialización de la industria petrolera para todos los países seleccionados respectivamente.



En el primer nodo denominado exploración y producción, se establecen tres *inputs* ( $X_1^1$ ,  $X_2^1$  y  $X_3^1$ ), los cuales son representados por las reservas petroleras ( $X_1^1$ ), el número de empleados ( $X_2^1$ ) y el número de plataformas activas ( $X_3^1$ ).

Usando estos tres *inputs*, el nodo 1 de exploración y producción va a generar dos *outputs*, el primero es un *output* fijo denominado precio promedio por barril producido ( $y^1$ ), el segundo es un *output* denominado barriles de petróleo crudo producidos ( $y^2$ ) el cual servirá como *input* intermedio para el nodo 2 denominado transformación industrial ( $y^2 \Rightarrow X_1^2$ ) y para el nodo 3 denominado comercialización ( $y^2 \Rightarrow X_1^3$ ).

Para el nodo 2 transformación industrial se utilizó el *input* intermedio que viene del nodo 1 denominado barriles de petróleo crudo producidos ( $y^2 \Rightarrow X_1^2$ ) así como también se agrega el *input* denominado número de empleados ( $X_2^2$ ) y el *input* capacidad máxima de refinación por país ( $X_3^2$ ).

El nodo 2 de transformación industrial va a producir 2 *outputs* los cuales son rendimiento promedio de las refinerías ( $y^3$ ) y producción de productos petrolíferos ( $y^4 \Rightarrow X_2^3$ ), este último haciendo referencia a todos los productos que se deriven de la transformación del petróleo crudo. Este último *output* a su vez servirá de *input* intermedio para el nodo 3 denominado comercialización.

El nodo 3 comercialización está compuesto por tres *inputs*; el primero es el *input* intermedio que viene desde el nodo 1 llamado barriles de petróleo crudo producidos ( $y^2 \Rightarrow X_1^2$ ), así como el *input* intermedio que viene del nodo 2 llamado producción de productos petrolíferos ( $y^4 \Rightarrow X_2^3$ ), y se asume por último el *input* número de empleados ( $X_3^3$ ).

Del nodo 3 de comercialización, se van a generar tres *outputs*, el primero son las exportaciones de petróleo crudo ( $y^5$ ), el segundo son las exportaciones de productos petrolíferos ( $y^6$ ) y el último *output* que es el *output* final denominado ventas totales de la industria petrolera ( $y^7$ ).

A partir de los datos anteriores se construyó una tabla para operacionalizar los tres nodos generados, así como todos los *inputs* y todos los *outputs* para ejemplificarlo de una mejor manera (Véase figura 11).

**Figura 11**
**Conjunto de datos para el modelo *DEA Network* de la industria petrolera**

<b>Nodo 1: Exploración y producción</b>	$X_1^1$	<i>Input</i>	Reservas petroleras (Mb/d)
	$X_2^1$	<i>Input</i>	Número de empleados (#)
	$X_3^1$	<i>Input</i>	Plataformas activas (#)
	$Y^1$	<i>output fijo</i>	Precio por barril producido (#)
	$Y^2 \Rightarrow X_1^2$ $Y^2 \Rightarrow X_1^3$	<i>Output / input intermedio para nodo 2 y 3</i>	Barriles de petróleo crudo producidos (Mb/d)
<b>Nodo 2: Transformación industrial</b>	$Y^2 \Rightarrow X_1^2$	<i>Output / Input intermedio</i>	Barriles de petróleo crudo producidos (Mb/d)
	$X_2^2$	<i>Input</i>	Número de empleados (#)
	$X_3^2$	<i>Input</i>	Capacidad máxima de refinación por país (1,000 b/cd)
	$Y^3$	<i>Output fijo</i>	Rendimiento promedio de refinерías (Mb/d)
	$Y^4 \Rightarrow X_2^3$	<i>Output / input intermedio para nodo 3</i>	Producción de productos petrolíferos (1,000 b/d)
<b>Nodo 3: Comercialización</b>	$Y^2 \Rightarrow X_1^3$	<i>Output / Input intermedio</i>	Barriles de petróleo crudo producidos (Mb/d)
	$Y^4 \Rightarrow X_2^3$	<i>Output / Input intermedio</i>	Producción de productos petrolíferos (1,000 b/d)
	$X_3^3$	<i>Input</i>	Número de empleados (#)
	$Y^5$	<i>Output</i>	Exportaciones de petróleo crudo (1,000 b/d)
	$Y^6$	<i>Output</i>	Exportaciones de productos petrolíferos (1,000 b/d)
	$Y^7$	<i>Output final</i>	Ventas totales de la industria petrolera (#)

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

Como se aprecia en la figura 11, la operacionalización del modelo se va a encontrar en primera instancia por el primer nodo (variable) denominado exploración y producción. Este primer nodo cuenta, como se ha mencionado anteriormente con tres *inputs* (indicadores), el primer *input* son las reservas petroleras las cuales están medidas en miles de barriles diarios (Mb/d). el segundo *input* es el número de empleados el cual está medido por la cantidad de mano de obra que opera dentro del nodo de exploración y producción. El tercer *input* son las plataformas activas y estarán medidas por el número de plataformas que estén o hayan estado en operación durante el determinado periodo de tiempo señalado.

Se obtendrán, por lo tanto, del ingreso de una dotación de inputs en el primer nodo, dos outputs. El primer *output*, el cual se le denomina *output* fijo, es el precio promedio del barril del petróleo el cual está medido en términos de dólares y el segundo *output* es el *output* de enlace u *output* intermedio con el nodo 2 y nodo 3 llamado barriles de petróleo crudo producidos y está medido en miles de barriles producidos diarios (Mb/d).

En el segundo nodo transformación industrial, se encontrarán tres *inputs*, el primer *input* es nuestro *output/input* intermedio barriles de petróleo crudo producidos que viene del nodo 1, el segundo *input* es el número de empleados el cual está medido por la cantidad de mano de obra que opera dentro del nodo de transformación industrial y el tercer *input* es la capacidad máxima de refinación que se tiene por país el cual está medido en miles de barriles diarios.

Cómo *outputs* del nodo 2, se obtienen el *output* fijo rendimiento promedio de las refinerías medido en miles de barriles diarios y el *output* de enlace o intermedio con el nodo 3 producción de productos petrolíferos que está medido en miles de barriles diarios.

El nodo 3 comercialización consta de tres *inputs*, el primer *input* es el *output/input* intermedio barriles de petróleo crudo producidos medidos en miles de barriles diarios producidos proveniente del nodo 1 “Exploración y producción”, el segundo es el *output/input* intermedio producción de productos petrolíferos medido en miles de barriles diarios proveniente del nodo 2 transformación industrial y el tercer *input* es el número de empleados el cual está medido por la cantidad de mano de obra que opera dentro del nodo de comercialización.

Los *outputs* del nodo 3 están compuestos de la siguiente manera; el primer *output* fijo son las exportaciones de petróleo crudo medidos en miles de barriles diarios, el segundo es el *output* fijo exportaciones de productos petrolíferos medido en miles de barriles diarios y el *output* final venta totales de la industria petrolera medido en millones de dólares.

A partir de la identificación de los tres nodos y elaboración de los *inputs* y *outputs* respectivamente, se pretende identificar la eficiencia total de la industria petrolera en México y de los principales países productores de petróleo en el contexto internacional 2010-2017.

### 6.4.- Aplicación del modelo matemático *DEA Network* para la industria petrolera.

A continuación, en la tabla 10, se presenta el modelo matemático de *DEA Network* propuesto para aplicar en la industria petrolera, para cada uno de los países seleccionados.

Tabla 10	
Modelo matemático <i>DEA Network</i> para el análisis de la eficiencia de la industria petrolera	
Nodo 1	(a) ${}^2_1Ym \leq \sum_{k=1}^k z_k^1 {}^2_1Ykm, m = 1, \dots, M^1,$ (b) $\sum_{k=1}^k z_k^1 {}^1_0x_{kn} \leq {}^1_0x_n, n = 1, \dots, N,$ (c) $z_k^1 \geq 0, k = 1, \dots, K$
Nodo 2	(d) ${}^3_2ym \leq \sum_{k=1}^k z_k^2 {}^3_2Ykm, m = 1, \dots, M^2,$ (e) $\sum_{k=1}^k z_k^2 {}^2_0x_{kn} \leq {}^2_0x_n, n = 1, \dots, N,$ (f) $\sum_{k=1}^k z_k^2 {}^2_1Ykm \leq {}^2_1Ym, m = 1, \dots, M^1,$ (g) $z_k^2 \geq 0, k = 1, \dots, K$
Nodo 3	(h) ${}^4_3ym \leq \sum_{k=1}^k z_k^3 {}^4_3ykm, m = 1, \dots, M^3,$ (i) $\sum_{k=1}^k z_k^3 {}^3_0x_{kn} \leq {}^3_0x_n, n = 1, \dots, N,$ (j) $\sum_{k=1}^k z_k^3 {}^3_2ykm \leq {}^3_2ym, m = 1, \dots, M^2,$ (k) $z_k^3 \geq 0, k = 1, \dots, K$
Distribución de Inputs exógenos	(l) ${}^1_0x_n + {}^2_0x_n + {}^3_0x_n \leq x_n, n = 1, \dots, N$
Fuente: Elaboración propia con base en Fare y Grosskopf, 2000.	

En el modelo matemático *DEA Network* para el análisis de la eficiencia de la industria petrolera anterior, se puede identificar tres principales subtecnologías. La primera  $\mathfrak{B}^1({}^1_0x)$ , es dada por (a)-(c), la segunda  $\mathfrak{B}^2({}^2_0x)$ , por (d) – (g) y la tercera  $\mathfrak{B}^3({}^3_0x, {}^3_1y, {}^3_2y)$ , consiste en las expresiones (h) – (k). El presente modelo en red tiene tres conjuntos de tales variables.

Por otra parte  $\mathfrak{B}(x)$  tiene un nodo de distribución que permite estudiar la distribución óptima de los *inputs* exógenos entre subtecnologías.

En el siguiente capítulo, se analizará y revisará cuales fueron los resultados obtenidos a partir del modelo *DEA Network* planteado anteriormente y descubrir que países fueron eficientes en el periodo 2010-2017 tanto de manera global como por cada uno de los nodos establecidos en el modelo.

# **PARTE IV**

# **RESULTADOS**

## CAPÍTULO 7

# LA EFICIENCIA A TRAVÉS DEL *NETWORK DATA ENVELOPMENT ANALYSIS* DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN MÉXICO

---

En este último capítulo se presentan los resultados obtenidos de la medición de la eficiencia de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel internacional en el periodo 2010-2017 a través del modelo *DEA Network* de manera global, así como también por sus nodos.

### **7.1.- Eficiencia global *DEA Network* de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial**

Derivado de los resultados obtenidos a través del modelo *DEA Network*, se puede determinar que se obtuvo un promedio global de eficiencia de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial en el periodo de 2010-2017 del 88% aplicando la eficiencia técnica con rendimientos variables de escala y una orientación *output*.

Se muestra a continuación en la tabla 11 los resultados de la eficiencia global que se obtuvo de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial en el periodo de 2010-2017.

Tabla 11

**Eficiencia global *DEA Network* de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial**

País	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>México</b>	0.551537	0.782969	0.739994	0.719448	0.679509	0.625895	0.612136	0.5807
<b>Rusia</b>	0.851359	1	1	1	1	0.991384	0.9789	0.97261
<b>EUA</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Canadá</b>	0.874983	0.800512	0.744828	0.791406	0.834683	0.812129	0.844228	0.88545
<b>Brasil</b>	0.990049	0.782838	0.740442	0.725594	0.810437	0.824874	0.899959	0.9759
<b>China</b>	0.878068	0.971479	0.988438	0.981722	0.990046	0.976849	0.951933	0.97842
<b>Angola</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Reino Unido</b>	0.818744	0.933274	0.872896	0.881242	0.858318	0.827919	0.847943	0.82516
<b>España</b>	0.781592	0.708306	0.647859	0.704935	0.720265	0.721569	0.778239	0.87353
<b>Francia</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Países Bajos</b>	1	0.99985	0.999462	0.999591	1	1	1	1
<b>Kuwait</b>	0.992186	0.990705	1	1	0.993767	0.978541	0.937649	0.9674
<b>Venezuela</b>	0.783458	0.821214	0.762966	0.752556	0.761058	0.726966	0.657639	0.60377
<b>Kazajistán</b>	0.731291	0.804975	0.783644	0.769223	0.773871	0.745139	0.772286	0.81742
<b>Emiratos Árabes</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Argelia</b>	0.799662	0.881852	0.77884	0.72396	0.856886	0.91947	0.914311	0.8791

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

Como se puede observar en la tabla 11, los países petroleros que fueron eficientes durante el periodo 2010-2017 fueron Estados Unidos, Angola, Francia y Emirato Árabes Unidos. La eficiencia de la industria petrolera en los Estados Unidos y Francia durante este período se puede explicar porque son países que cuentan con empresas petroleras de primera calidad a nivel mundial, caso Exxon Mobil de Estados Unidos (Exxon Mobil, 2020) y de TOTAL en Francia (TOTAL, 2020). De igual manera, estos países invierten en tecnología e investigación y desarrollo más que otros países en esta industria por ser parte fundamental de su economía (Oliveira and Sturgeon, 2017).

El caso de Emiratos Árabes Unidos se debe a que es un país muy rico en petróleo y cuenta con apoyo de Arabia Saudita, de igual manera es un país en donde la industria petrolera juega un papel fundamental para su economía por lo que se encuentran en constante inversión y desarrollo de dicha industria (ENOC, 2019).

Angola es un caso particular, ya que, si bien no es un país de primer mundo como los anteriores, es un país en el cual existe una fuerte influencia de inversión extranjera directa en su industria petrolera, lo cual ha permitido que se desarrolle de manera importante (Soares de Oliveira, 2007). Dentro de los principales factores que pueden explicar su eficiencia durante este periodo, es el que durante varios años sus refinerías se han encontrado al máximo de su capacidad de producción, así como la IED provenientes principalmente del Reino Unido y Francia (Ovadia, 2012).

Existen países de igual manera, que fueron eficientes en varios años, destacando Rusia del año 2011 al 2014, Países Bajos en el año 2010, 2014, 2015, 2016 y 2017 y Kuwait en los años 2012 y 2013. Existe otro grupo de países que estuvo muy cerca de alcanzar la eficiencia durante dicho periodo, tal es el caso de Canadá, Brasil, China, Reino Unido, España. Finalmente encontramos los países que fueron ineficientes durante este periodo como lo son Venezuela, Kazajistán, Argelia y por último México quien fue el país que tuvo los niveles más bajos de eficiencia técnica con rendimientos variables durante dicho periodo a pesar de que tuvo un incremento de eficiencia considerable en el 2011 en los nodos de exploración y producción y de transformación industrial sin llegar a alcanzar la eficiencia óptima y teniendo una caída nuevamente en el 2014 en exploración y producción y 2012 en transformación industrial. .

## **7.2.- Eficiencia del nodo exploración y producción de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial**

Para analizar de manera completa e integral la industria petrolera de México y de los principales países petroleros en el periodo de 2010-2017 por medio del modelo *DEA Network*, como anteriormente se señaló, se tiene que establecer nodos los cuales van a estar interconectados por medio de variables de enlace. A partir de este diseño, se puede analizar

cada uno de los nodos para explicar de una mejor manera el comportamiento en términos de eficiencia de la presente industria.

Por lo tanto, se puede determinar que se obtuvo un promedio en el nodo 1 exploración y Producción de eficiencia del 94.5% aplicando la eficiencia técnica con rendimientos variables de escala y una orientación *output*.

En la tabla 12 se observan los resultados de la eficiencia que se obtuvo del nodo 1 exploración y producción de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial en el periodo de 2010-2017.

**Tabla 12**

**Eficiencia del nodo 1: Exploración y producción de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial**

<b>País</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>México</b>	0.687259	0.907261	0.912786	0.905808	0.862478	0.819754	0.813951	0.861474
<b>Rusia</b>	0.686383	1	1	1	1	0.98257	0.96032	0.982674
<b>EUA</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Canadá</b>	0.699967	0.700037	0.654659	0.674988	0.725814	0.674798	0.677875	0.720397
<b>Brasil</b>	0.97073	0.920518	0.933676	0.904179	1	1	1	0.931029
<b>China</b>	0.705919	0.98471	0.966097	0.9471	0.970722	0.933621	0.868446	0.937932
<b>Angola</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Reino Unido</b>	0.938109	1	0.999709	1	0.999982	0.998453	0.999234	0.999451
<b>España</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Francia</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Países Bajos</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Kuwait</b>	0.976919	0.981937	1	1	0.981531	0.938273	0.926601	0.955448
<b>Venezuela</b>	0.875073	0.875125	0.892999	0.888872	0.8764	0.779868	0.774035	0.87759
<b>Kazajistán</b>	0.937776	0.946611	0.973192	0.980409	0.97859	0.897334	0.928451	0.972881
<b>Emiratos Árabes</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Argelia</b>	1	1	0.992475	1	1	1	1	0.996419

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

De acuerdo a la tabla 12, se observa que los países que lograron ser eficientes en el periodo 2010-2017 en el nodo 1 de exploración y producción fueron Estados Unidos, Angola, España, Francia, Países Bajos y Emiratos Árabes Unidos. Esto demuestra que, de acuerdo a los insumos utilizados en el nodo 1 (OPEC, 2018) estos países sobresalieron en su capacidad en los procesos de descubrimientos de pozos petroleros, en la perforación y producción de crudo. De igual manera la capacidad en bienes de capital representada por los pozos activos es aprovechada de la mejor manera. Respecto a Angola, la eficiencia en este país petrolero se explica por la gran influencia que tienen compañías petroleras extranjeras procedentes principalmente del Reino Unido y Francia (Ovadia, 2012).

Existe otro grupo de países que alcanzaron la eficiencia en ciertos años, los cuales fueron Rusia para los años 2011-2014, estando muy cerca de la eficiencia los años posteriores, Brasil marca una eficiencia en exploración y producción en los años 2014, 2015 y 2016, estando muy cerca de la misma en los años anteriores y posteriores. Reino Unido se encuentra con una eficiencia en el nodo 1 de exploración y producción en los años 2011 y 2013, manteniéndose de igual manera que el caso de Brasil y Rusia muy cerca de la eficiencia en sus demás años tanto anteriores como posteriores. Kuwait y Argelia son países con el mismo caso que los países anteriores, Kuwait encuentra la eficiencia en los años 2012 y 2013 y Argelia solamente no encuentra la eficiencia en el año 2012 y 2017, sin embargo, se encuentra muy cerca de obtenerla.

Los países que no encontraron una eficiencia en ningún año del periodo 2010-2017 son, México, Canadá, China, Venezuela y Kazajistán. Para el caso de Canadá y China se considera que estos países no alcanzan la eficiencia (aunque se encuentran cerca de obtenerla) en ningún año debido a que son países que se especializan en el área de transformación industrial, haciendo referencia a que son más eficientes en la producción de bienes derivados del petróleo.

El caso de Venezuela es muy particular, ya que su caída ha sido marcada por problemas económicos tanto internos como externos, principalmente con Estados Unidos, quien es su principal comprador de crudo (Lajous et al., 2019). De igual manera, al ser un país que exporta principalmente petróleo crudo, se ha visto afectado por la caída en los precios de este hidrocarburo, provocando una caída en su producción (OPEC, 2019), sin embargo, para los

dos últimos años se nota una ligera recuperación en dicha producción y por lo tanto se ve reflejado en un incremento de su eficiencia, sin alcanzar niveles idóneos de la misma. El caso de Kazajistán es muy similar al de Venezuela en términos de dependencia de los precios del petróleo, ya que de igual manera es un país que sufre mucho cuando cae el precio del barril de crudo.

Para el caso de México, llama mucho la atención que mantiene una caída constante a través de los años, siendo el país con la menor eficiencia de los dieciséis, sin tampoco estar muy por debajo de los límites de la eficiencia. Esta caída de la eficiencia va de la mano con la reestructura que se le hizo a la paraestatal PEMEX en la cual se empiezan a ceder áreas tanto terrestres como marítimas para que empresas petroleras extranjeras puedan extraer el crudo bajo ciertas negociaciones establecidas por el gobierno en ese periodo de tiempo. De igual manera la dependencia con Estados Unidos en términos de exportaciones e importaciones de crudo han afectado junto con la caída de los precios del mismo, el desempeño del nodo exploración y producción.

Después de analizar el nodo 1 exploración y producción, es importante revisar de igual manera cual es el comportamiento de esta industria una vez que el crudo es extraído para su refinamiento, procesamiento y comercialización.

### **7.3.- Eficiencia del nodo transformación industrial de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial**

El nodo 2 del modelo es denominado transformación industrial, en este nodo se analiza el procesamiento y refinación que tiene el crudo una vez extraído, por lo tanto, se puede determinar que, para este nodo, se obtuvo un promedio eficiencia del 90% aplicando la eficiencia técnica con rendimientos variables de escala y una orientación *output*.

En la tabla 13 se observan los resultados de la eficiencia que se obtuvo del nodo 2 transformación industrial de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial en el periodo de 2010-2017.

Tabla 13

**Eficiencia del nodo 2: Transformación industrial de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial**

País	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
México	0.378106	0.682352	0.658143	0.622326	0.573841	0.511877	0.470242	0.373279
Rusia	0.937325	1	1	1	1	0.991736	0.977189	0.937325
EUA	1	1	1	1	1	1	1	1
Canadá	1	0.929205	0.916852	0.886607	0.892101	0.876326	0.927349	1
Brasil	1	0.999403	1	1	1	1	0.878619	1
China	1	1	1	1	1	1	1	1
Angola	1	1	1	1	1	1	1	1
Reino Unido	0.625714	0.82339	0.697725	0.712105	0.668812	0.618569	0.655893	0.615212
España	1	1	1	1	1	1	1	1
Francia	1	1	1	1	1	1	1	1
Países Bajos	1	0.999549	0.998388	0.998773	1	1	1	1
Kuwait	1	0.990343	1	1	1	1	0.892635	0.948336
Venezuela	0.696976	0.789646	0.672304	0.677453	0.628103	0.63796	0.552088	0.482986
Kazajistán	0.623114	0.974677	0.921992	0.781976	0.787121	0.748773	0.763061	0.750217
Emiratos Árabes	1	1	1	1	1	1	1	1
Argelia	0.780517	1	0.910137	0.705599	1	0.913048	0.958794	0.85741

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

De acuerdo a la tabla 13, se observa que los países que lograron ser eficientes en el periodo 2010-2017 en el nodo 2 transformación industrial fueron Estados Unidos, China, España, Francia, Angola y Emiratos Árabes. Esto demuestra que no solo son países con una alta capacidad de producción de crudo, si no que tienen de igual manera una gran capacidad de refinamiento y procesamiento del mismo, esto debido a la inversión en infraestructura que tienen viéndose reflejados en el número de refinerías y el rendimiento promedio que cada una genera en su respectivo país.

De los países que alcanzaron la eficiencia en ciertos años, destaca Rusia para los años 2011-2014, estando muy cerca de la eficiencia los años posteriores, Brasil marca una eficiencia en

transformación industrial en los años 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 y 2017, estando muy cerca de la misma en los años anteriores y posteriores. Canadá encuentra la eficiencia en los años 2010 y 2017. Países bajos encuentra la eficiencia en los años 2010, 2014, 2015, 2016 y 2017. Kuwait encuentra la eficiencia en el nodo de transformación industrial en los años 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015 y Argelia solamente no encuentra la eficiencia en el año 2011 y 2014.

Los países que no alcanzaron la eficiencia en ningún año en el nodo de transformación industrial fueron México, Reino Unido, Venezuela, Kazajistán.

Para el caso del Reino Unido, Venezuela y Kazajistán, la eficiencia alcanzada en este nodo es media-baja, esto debido a que el fuerte de su industria se encuentra en la parte extractiva, esto no significa que el nodo 2 no sea relevante, sino todo lo contrario, ya que el valor agregado que generan los productos derivados del petróleo es muy alto.

México destaca nuevamente por sobre los demás países debido a que es el país que menor eficiencia tuvo. Es importante señalar como a través de los años la eficiencia en el nodo transformación industrial sube a mitad del periodo, pero vuelve a caer a partir de los años en que se dieron las reformas estructurales de la industria. Esta caída va muy de la mano con el abandono que se tuvo en las refinerías, plantas procesadoras de gas y petroquímicas en términos de inversión en mantenimiento, contrato de personal, etc.

Una vez revisado el nodo de transformación industrial en donde se lleva a cabo el procesamiento y refinamiento del crudo en distintos productos, es importante que se revise como se desempeña la eficiencia en términos de comercialización de estos productos.

#### **7.4.- Eficiencia del nodo comercialización de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial**

En el presente nodo comercialización se analiza la eficiencia de las ventas tanto el petróleo crudo como los productos derivados del mismo, así como de las ganancias que estas dejan procedentes del mercado internacional. Se puede determinar que, para este nodo, se obtuvo

un promedio eficiencia del 86.8% aplicando la eficiencia técnica con rendimientos variables de escala y una orientación *output*.

En la tabla 14 se observan los resultados de la eficiencia que se obtuvo del nodo 3 comercialización de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros a nivel mundial en el periodo de 2010-2017.

**Tabla 14**

**Eficiencia del nodo 3: Comercialización de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial**

País	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
México	0.746529	0.791243	0.694871	0.685399	0.661001	0.617412	0.646943	0.753891
Rusia	1	1	1	1	1	1	1	1
EUA	1	1	1	1	1	1	1	1
Canadá	1	0.80456	0.709433	0.846513	0.912854	0.933759	1	1
Brasil	1	0.572978	0.504897	0.492959	0.587646	0.610903	0.836585	1
China	1	0.932358	1	1	1	1	1	1
Angola	1	1	1	1	1	1	1	1
Reino Unido	1	1	0.996697	1	1	0.994667	0.987587	0.990442
España	0.543976	0.447336	0.380136	0.443319	0.461865	0.463476	0.539126	0.697179
Francia	1	1	1	1	1	1	1	1
Países Bajos	1	1	1	1	1	1	1	1
Kuwait	1	1	1	1	1	1	1	1
Venezuela	0.798949	0.803831	0.754843	0.721877	0.827298	0.7831	0.685619	0.56855
Kazajistán	0.698745	0.608108	0.582711	0.624514	0.631199	0.634452	0.668005	0.763788
Emiratos Árabes	1	1	1	1	1	1	1	1
Argelia	0.680094	0.713302	0.572881	0.579159	0.666202	0.85652	0.807636	0.80472

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

De acuerdo a la tabla 14, se observa que los países que lograron ser eficientes en el periodo 2010-2017 en el nodo 3 comercialización fueron Rusia, Estados Unidos, Angola, Francia, Países Bajos, Kuwait y Emiratos Árabes. Esto quiere decir que fueron eficientes en términos de exportación de crudo, de productos derivados del petróleo, así como en sus ventas medidas en millones de dólares.

De los países que alcanzaron la eficiencia en ciertos años, destaca Canadá en el año 2010, 2016 y 2017, Brasil en el año 2010 y 2017, China para el año 2010 y del 2012 al 2017 y Reino Unido para los años 2010, 2011, 2013 y 2014.

Los países que no alcanzaron la eficiencia en ningún año en el nodo de comercialización fueron México, España, Venezuela, Kazajistán y Argelia. Esto quiere decir que no fueron eficientes en términos de exportación tanto de barriles de crudo como de productos derivados del petróleo, pero principalmente por una ineficiencia en las ventas totales medidas en millones de dólares.

Cabe destacar que, para el caso de México esta ineficiencia en el nodo de comercialización va muy de la mano con la ineficiencia obtenida en los nodos exploración y Producción y transformación Industrial, provocando un encadenamiento improductivo e ineficiente afectando a la totalidad de la industria petrolera en el periodo 2010-2017.

### **7.5.- Análisis de *benchmarking* del nodo exploración y producción**

La característica principal del análisis de *benchmarking* es la de identificar las DMU's eficientes (en este caso los principales países petroleros seleccionados para la presente investigación) que son consideradas como puntos de referencia para las DMU's que son ineficientes, dadas ciertas características similares.

En la tabla 15 se puede observar que, durante la mayoría del periodo seleccionado, el país petrolero que más se utiliza como referencia para el resto de los países es Argelia, seguido de Rusia, Estados Unidos y Angola. Analizando los países que fueron más ineficientes por cada año del nodo 1 de exploración y producción, en el 2010 se tienen a México y Rusia, el primero toma de referencia a Argelia y el segundo toma de referencia a Emiratos Árabes Unidos. Para el año 2011, 2012 y 2013 el más ineficiente es Canadá seguido en los tres años por Venezuela, el primero se toma como referencia para el 2011 a Rusia, para el 2012 a Angola y el 2013 a Estados Unidos de América y Venezuela toma como referencia para el 2011 a Argelia y para el 2012 y 2013 a los Países Bajos. En el año 2014, Canadá es el más ineficiente seguido de México y muy cerca Venezuela, el primero toma como referencia a Estados Unidos y México y Venezuela toman como referencia a Países Bajos. En el año 2015

y 2016 el país más ineficiente vuelve a ser Canadá quien toma como referencia a Estados Unidos seguido de Venezuela quien toma de referencia de nueva cuenta a los Países Bajos. Ya para el año 2017, de nueva cuenta se tiene como más ineficiente a Canadá seguido de México y Venezuela, el primero sigue teniendo como referencia a los Estados Unidos mientras que los otros dos a los Países Bajos.

**Tabla 15**
**Análisis benchmarking nodo 1: Exploración y producción de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial**

País	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>México</b>	P16(0.528083); P9(0.471917)	P11(0.880738); P16(0.119262)	P11(0.827711); P7(0.172289)	P11(0.772234); P16(0.227766)	P11(0.720683); P16(0.279317)	P11(0.679928); P16(0.320072)	P16(0.164464); P2(0.004042); P8(0.831495)	P11(0.458654); P7(0.541346)
<b>Rusia</b>	P15(0.762122); P16(0.200085); P2(0.037793)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P16(0.836975); P2(0.163025)	P16(0.842722); P3(0.157278)	P2(0.088106); P7(0.911894)
<b>EUA</b>	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)
<b>Canadá</b>	P16(0.062592); P3(0.035724); P8(0.901684)	P2(0.017171); P8(0.982829)	P7(0.212950); P8(0.787050)	P3(0.042680); P7(0.000809); P8(0.956511)	P3(0.034009); P8(0.965991)	P3(0.038731); P8(0.961269)	P3(0.041541); P8(0.958459)	P3(0.024261); P7(0.156148); P8(0.819590)
<b>Brasil</b>	P15(0.003089); P16(0.040730); P5(0.898436); P7(0.057745)	P2(0.134592); P8(0.865408)	P2(0.043315); P7(0.956685)	P16(0.408930); P2(0.063089); P7(0.527981)	P5(1.000000)	P5(1.000000)	P5(1.000000)	P2(0.021208); P5(0.015341); P7(0.963451)
<b>China</b>	P16(0.695942); P2(0.151854); P3(0.152204)	P2(0.180650); P3(0.314605); P8(0.504745)	P2(0.139539); P3(0.254886); P7(0.605576)	P2(0.138871); P3(0.226056); P7(0.635074)	P2(0.192068); P3(0.205800); P8(0.602133)	P16(0.630471); P2(0.115302); P3(0.254227)	P16(0.633100); P3(0.366900)	P2(0.234145); P3(0.019455); P7(0.746400)
<b>Angola</b>	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)
<b>Reino Unido</b>	P16(0.136563); P8(0.123193); P9(0.740244)	P8(1.000000)	P11(0.932368); P7(0.067632)	P8(1.000000)	P16(0.015917); P8(0.931343); P9(0.052740)	P11(0.465140); P16(0.137595); P9(0.397265)	P16(0.129050); P8(0.341847); P9(0.529103)	P11(0.059252); P7(0.228807); P9(0.711941)
<b>España</b>	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)
<b>Francia</b>	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)
<b>Países Bajos</b>	P11(1.000000)	P8(0.038462); P9(0.961538)	P8(0.038462); P9(0.961538)	P9(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)
<b>Kuwait</b>	P15(0.989675); P16(0.010325)	P15(0.638734); P2(0.042864); P7(0.318402)	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P15(0.713034); P2(0.049804); P7(0.224499); P7(0.375923)	P15(0.577869); P2(0.046209); P7(0.684978)	P15(0.267360); P2(0.047663); P7(0.752441)	P15(0.205002); P2(0.042557); P7(0.752441)
<b>Venezuela</b>	P15(0.307810); P16(0.692190)	P16(0.887776); P2(0.112224)	P11(0.105504); P7(0.894496)	P11(0.458549); P16(0.541451)	P11(0.520088); P16(0.479912)	P11(0.484610); P16(0.515390)	P11(0.263554); P16(0.736446)	P11(0.202913); P7(0.797087)
<b>Kazajistán</b>	P15(0.081367); P16(0.918633)	P16(0.901394); P2(0.098606)	P2(0.047773); P7(0.952227)	P16(0.978956); P2(0.021044)	P16(0.984978); P2(0.015022)	P16(0.970922); P2(0.029078)	P16(0.916415); P2(0.027096); P8(0.056489)	P11(0.216923); P7(0.783077)
<b>Emiratos Árabes Unidos</b>	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)
<b>Argelia</b>	P16(1.000000)	P16(1.000000)	P12(0.005264); P2(0.037471);	P16(1.000000)	P16(1.000000)	P16(1.000000)	P16(1.000000)	P11(0.197449); P7(0.802551)

**P01 = México. P02 = Rusia. P03 = EUA. P04 = Canadá. P05 = Brasil. P06 = China. P07 = Angola. P08 = Reino Unido. P09 = España  
P10 = Francia P11 = Países Bajos. P12 = Kuwait. P13 = Venezuela. P14 = Kazajistán. P15 = Emiratos Árabes Unidos P16 = Argelia.**

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

Cómo se puede observar en la tabla 15, para el caso particular de México, en el año 2010 toma como referencia a Argelia, del 2011 al 2015 toma como referencia a Países Bajos, para el 2016 toma de nueva cuenta como referencia a Argelia y finalmente en el 2017 vuelve a tomar como referencia a los Países Bajos.

México no es tomado en cuenta como referencia para ninguno de los países seleccionados en el nodo 1 de exploración y producción para ningún año. Esto es, debido a que a través de los años ha sufrido altibajos en sus niveles de eficiencia, sin realmente alcanzar el nivel de eficiencia óptimo, sino todo lo contrario obteniendo desde una perspectiva global cada vez menores niveles de eficiencia.

### **7.6.- Análisis de *benchmarking* del nodo transformación industrial**

Para el análisis de *benchmarking* del nodo 2 transformación industrial, se toma como referencia la tabla 16, la cual identifica que, durante la mayoría del periodo seleccionado, los países petroleros que más se utilizan como referencia para el resto de los países son Francia y Estados Unidos.

De acuerdo con la tabla 16, el país más ineficiente para el 2010 fue México, seguido por Kazajistán y Reino Unido. Tanto México como Kazajistán y Reino Unido tomaron a Francia como referencia para el año 2010. Para el año 2011 el más ineficiente fue de nueva cuenta México, esta vez seguido por Venezuela, quienes toman de nueva cuenta como referencia a Francia. Para el año 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017, México sigue encabezando la lista del país más ineficiente dentro del nodo 2 de transformación industrial seguido de igual manera por Venezuela y Reino Unido, para el caso de México se toma como referencia en todos los años a Francia, lo mismo lo hacen Venezuela y Reino Unido para los mismos años tomando como referencia a Francia.

**Tabla 16**
**Análisis *benchmarking* nodo 2: Transformación industrial de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial**

País	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>México</b>	P10(0.721655); P12(0.174302); P3(0.025778); P9(0.078266)	P10(0.912771); P7(0.087229)	P10(0.869937); P15(0.049341); P5(0.080722)	P10(0.882710); P3(0.007187); P5(0.110103)	P10(0.883305); P3(0.011975); P5(0.104720)	P10(0.912903); P12(0.068119); P3(0.018978)	P10(0.722327); P15(0.256702); P3(0.020970)	P10(0.756807); P15(0.218301); P3(0.024892)
<b>Rusia</b>	P10(0.707071); P3(0.229503); P6(0.063427)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P10(0.716861); P3(0.271249); P6(0.011890)	P10(0.706637); P3(0.241581); P6(0.051782)	P10(0.707071); P3(0.229503); P6(0.063427)
<b>EUA</b>	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)
<b>Canadá</b>	P4(1.000000)	P10(0.482484); P2(0.004939); P3(0.005853); P5(0.506725)	P10(0.443809); P3(0.015555); P5(0.452953); P9(0.087683)	P10(0.497252); P3(0.010305); P5(0.492444)	P10(0.508000); P3(0.013314); P5(0.407208); P9(0.071478)	P10(0.593442); P12(0.117040); P3(0.022960); P5(0.266558)	P10(0.395986); P11(0.195044); P15(0.082175); P3(0.058586); P7(0.268209)	P4(1.000000)
<b>Brasil</b>	P12(0.602690); P15(0.324182); P3(0.014277); P6(0.058852)	P10(0.003848); P15(0.026712); P2(0.010200); P5(0.959240)	P5(1.000000)	P5(1.000000)	P5(1.000000)	P5(1.000000)	P15(0.636865); P3(0.058731); P9(0.304404)	P15(0.509097); P3(0.030772); P6(0.000764); P9(0.459367)
<b>China</b>	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)
<b>Angola</b>	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)
<b>Reino Unido</b>	P10(0.803511); P3(0.003639); P4(0.091410); P7(0.101441)	P10(0.688503); P11(0.067369); P2(0.073117); P7(0.171011)	P10(0.988014); P2(0.011986)	P10(0.561228); P11(0.033800); P5(0.301933); P7(0.103040)	P10(0.751935); P14(0.202266); P2(0.045799)	P10(0.938592); P12(0.059956); P3(0.001452)	P10(0.820277); P15(0.128638); P7(0.051086)	P10(0.864710); P15(0.133959); P3(0.001331)
<b>España</b>	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)	P9(1.000000)
<b>Francia</b>	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)
<b>Países Bajos</b>	P11(1.000000)	P10(0.001153); P11(0.977108); P2(0.003985); P7(0.017754)	P10(0.001127); P11(0.978709); P12(0.019567); P2(0.000597)	P11(0.983807); P12(0.015399); P2(0.000506); P5(0.000288)	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)
<b>Kuwait</b>	P12(1.000000)	P10(0.014786); P13(0.019838); P15(0.952484); P3(0.012893)	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P10(0.034828); P15(0.539225); P3(0.013468); P7(0.412479)	P10(0.059275); P15(0.540678); P3(0.002449); P7(0.397597)
<b>Venezuela</b>	P10(0.469848); P12(0.486705); P3(0.043447)	P10(0.515322); P15(0.363176); P2(0.121502)	P10(0.685329); P12(0.231754); P2(0.082917)	P10(0.709165); P3(0.011228); P5(0.279606)	P10(0.804218); P3(0.020612); P5(0.175170)	P10(0.865279); P12(0.102718); P3(0.032003)	P10(0.788369); P15(0.180126); P3(0.031505)	P10(0.644583); P15(0.317757); P3(0.037660)
<b>Kazajistán</b>	P10(0.216521); P7(0.783479)	P2(0.048243); P7(0.951757)	P12(0.309446); P7(0.690554)	P10(0.185415); P7(0.814585)	P10(0.199738); P7(0.800262)	P10(0.199738); P7(0.800262)	P10(0.199738); P7(0.800262)	P10(0.216521); P7(0.783479)
<b>Emiratos Árabes Unidos</b>	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)
<b>Argelia</b>	P10(0.325899); P12(0.115709); P3(0.000768); P7(0.557624)	P10(0.243000); P11(0.050131); P2(0.000691); P5(0.013979); P7(0.692200)	P11(0.138467); P12(0.430898); P7(0.430635)	P10(0.334164); P12(0.045649); P5(0.026948); P7(0.593240)	P16(1.000000)	P10(0.235412); P3(0.004200); P7(0.624597); P9(0.135792)	P10(0.180832); P3(0.004667); P7(0.632420); P9(0.182082)	P10(0.262182); P3(0.013631); P7(0.724187)

P01 = México. P02 = Rusia. P03 = EUA. P04 = Canadá. P05 = Brasil. P06 = China. P07 = Angola. P08 = Reino Unido. P09 = España  
 P10 = Francia P11 = Países Bajos. P12 = Kuwait. P13 = Venezuela. P14 = Kazajistán. P15 = Emiratos Árabes Unidos P16 = Argelia.

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

Para el caso particular de México, de acuerdo con la tabla 15 y 16, se observa que México es el país más ineficiente en todo el periodo del nodo 2 de transformación industrial tomando como referencia para todos los años a Francia, de igual manera destaca el caso de Estados Unidos como país de referencia.

Debido a la naturaleza de los resultados obtenidos para el nodo 2 de transformación industrial, es importante poner especial atención en mejorar la eficiencia de México en dicho nodo.

### **7.7.- Análisis de *benchmarking* del nodo comercialización**

En la tabla 17 se puede observar que, durante la mayoría del periodo seleccionado para el nodo 3 comercialización, el país petrolero que más se utiliza como referencia para el resto de los países es Kuwait, seguido muy de cerca por Estados Unidos y Emiratos Árabes Unidos.

Dentro de los países más ineficientes en el nodo 3 comercialización, para el año 2010 encontramos en primer lugar a España seguido de Argelia, para el caso de España se toma como referencia a los países Bajos y para el caso de Argelia se toma a Francia. Del año 2011 al año 2014 se va a tener como el país más ineficiente a España seguido de Brasil, el primero toma como referencia del 2011 al 2013 a Francia, para el 2014 toma de referencia a los Países Bajos, para el caso de Brasil se toma como referencia del 2011 al 2014 a Francia. Para el año 2015, España sigue siendo el país más ineficiente, seguido de Brasil y muy de cerca México, para el caso de España se toma como referencia a los Países Bajos, Brasil a Francia y México a Kuwait. En el 2016, España es el más ineficiente seguido por México, en donde Francia es tomado como referencia para España y los Países Bajos para México. Para el año 2017, Venezuela es el país más ineficiente quien toma como referencia a los Emiratos Árabes Unidos (véase tabla 17).

**Tabla 17**
**Análisis benchmarking nodo 3: Comercialización de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial**

País	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>México</b>	P12(0.712472); P15(0.125041); P3(0.033933); P4(0.128554)	P15(0.642521); P2(0.006186); P3(0.023382); P8(0.327911)	P12(0.822813); P2(0.027561); P3(0.004067); P8(0.145559)	P12(0.827001); P2(0.013482); P3(0.020138); P8(0.139379)	P12(0.856079); P2(0.015777); P3(0.028496); P8(0.099648)	P12(0.934952); P15(0.012921); P2(0.028881); P3(0.023245)	P11(0.079584); P12(0.796860); P3(0.029434); P4(0.094122)	P10(0.072283); P11(0.072619); P12(0.808091); P3(0.047007)
<b>Rusia</b>	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)	P2(1.000000)
<b>EUA</b>	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)	P3(1.000000)
<b>Canadá</b>	P4(1.000000)	P15(0.572627); P2(0.108600); P3(0.025320); P8(0.293454)	P11(0.011131); P12(0.829045); P2(0.159824)	P12(0.771084); P15(0.087602); P2(0.129321); P3(0.011993)	P12(0.669435); P15(0.158035); P2(0.169877); P3(0.002653)	P12(0.711778); P15(0.133585); P2(0.150855); P3(0.003782)	P4(1.000000)	P4(1.000000)
<b>Brasil</b>	P5(1.000000)	P10(0.022951); P12(0.416814); P3(0.052727); P8(0.507507)	P10(0.105165); P12(0.316095); P3(0.043693); P8(0.535047)	P10(0.261595); P12(0.216009); P3(0.050739); P8(0.471656)	P10(0.217864); P11(0.292985); P12(0.428820); P3(0.060331)	P10(0.058067); P11(0.290598); P12(0.600585); P3(0.050750)	P10(0.431557); P11(0.020920); P12(0.485126); P3(0.062397)	P5(1.000000)
<b>China</b>	P6(1.000000)	P11(0.502288); P2(0.005677); P3(0.492035)	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)	P6(1.000000)
<b>Angola</b>	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)	P7(1.000000)
<b>Reino Unido</b>	P8(1.000000)	P8(1.000000)	P11(0.289279); P12(0.104221); P2(0.002386); P8(0.604115)	P8(1.000000)	P8(1.000000)	P11(0.719367); P12(0.266109); P2(0.014524)	P11(0.709827); P12(0.280686); P4(0.009487)	P11(0.709322); P12(0.168098); P4(0.122580)
<b>España</b>	P11(0.005443); P12(0.975708); P3(0.018849)	P10(0.518736); P11(0.065779); P12(0.302139); P7(0.113346)	P10(0.161212); P11(0.119898); P12(0.711518); P3(0.007371)	P10(0.137098); P11(0.040824); P12(0.810945); P3(0.011133)	P11(0.022278); P12(0.960714); P3(0.017008)	P11(0.060447); P12(0.923318); P3(0.016235)	P10(0.075258); P11(0.013070); P12(0.892192); P3(0.019480)	P10(0.316160); P11(0.024287); P15(0.648663); P3(0.010890)
<b>Francia</b>	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)	P10(1.000000)
<b>Países Bajos</b>	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)	P11(1.000000)
<b>Kuwait</b>	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P12(1.000000)	P12(1.000000)
<b>Venezuela</b>	P11(0.189948); P12(0.054053); P15(0.333528); P3(0.030934); P4(0.391537)	P11(0.200267); P12(0.278011); P15(0.406943); P2(0.088787); P3(0.025991)	P11(0.044074); P12(0.842142); P2(0.113783)	P11(0.019137); P12(0.761800); P2(0.102252); P3(0.005996); P8(0.110815)	P12(0.801393); P15(0.049432); P2(0.145150); P3(0.004025)	P12(0.574356); P15(0.274256); P2(0.147343); P3(0.004045)	P15(0.243851); P2(0.006760); P4(0.749389)	P15(0.254907); P2(0.014710); P4(0.730383)
<b>Kazajistán</b>	P15(0.148599); P4(0.089729); P7(0.761672)	P15(0.529377); P7(0.470623)	P15(0.539971); P7(0.460029)	P11(0.002375); P15(0.367373); P7(0.630252)	P15(0.420648); P7(0.579352)	P15(0.310260); P7(0.689740)	P15(0.235143); P7(0.764857)	P15(0.271603); P7(0.728397)
<b>Emiratos Árabes Unidos</b>	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)	P15(1.000000)
<b>Argelia</b>	P10(0.105868); P11(0.221465); P12(0.135675); P7(0.536992)	P11(0.274951); P12(0.141017); P15(0.022930); P7(0.561103)	P11(0.283937); P12(0.145942); P15(0.202285); P7(0.367836)	P11(0.334879); P12(0.034415); P15(0.152237); P7(0.478469)	P11(0.314303); P12(0.276470); P7(0.409228)	P11(0.207640); P12(0.301093); P7(0.491267)	P11(0.155108); P12(0.408573); P7(0.436319)	P11(0.198826); P15(0.361145); P7(0.440029)

P01 = México. P02 = Rusia. P03 = EUA. P04 = Canadá. P05 = Brasil. P06 = China. P07 = Angola. P08 = Reino Unido. P09 = España  
 P10 = Francia P11 = Países Bajos. P12 = Kuwait. P13 = Venezuela. P14 = Kazajistán. P15 = Emiratos Árabes Unidos P16 = Argelia.

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

Para el caso de México, de acuerdo con los resultados obtenidos, en el nodo 3 “comercialización México toma como referencia del año 2010 a Kuwait, para el 2011 toma de referencia a los Emiratos Árabes Unidos, del 2012 al 2015 toma como referencia de nueva cuenta a Kuwait, el año 2016 toma como referencia a los Países bajos y por último para el 2017 toma de referencia a Francia.

## 7.8.- Análisis de *slacks* del nodo exploración y producción

El análisis de variables *slacks* permite analizar en qué parte y en qué proporción se debe de realizar una reducción en algún *input* o bien un incremento en el *output*. Debido a que el modelo tiene una orientación output se van a mostrar las cantidades que se deben de aumentar.

Para realizar una comparativa entre el inicio del periodo de estudio con el final del mismo, se toma como muestra para el análisis de *slacks* el año 2010 y el año 2017. A continuación, se presenta la tabla 18, la cual muestra los resultados del análisis de *slacks* para el año 2010:

<b>Tabla 18</b>					
<b>Análisis de <i>slacks</i> nodo 1: Exploración y producción de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2010</b>					
<b>País</b>	<b>Reservas petroleras</b>	<b>Mano de obra</b>	<b>Plataformas activas</b>	<b>Precio promedio barril</b>	<b>Barriles petróleo producidos</b>
México	0	-20313.3196	-1.854083	0	-1288.00552
Rusia	0	-168117.48	-304.742963	0	-7948.6984
EUA	0	0	0	0	0
Canadá	0	-32384.1353	-165.765785	0	0
Brasil	0	-3325.44038	0	0	-116.385841
China	0	-204042.971	-733.332367	0	0
Angola	0	0	0	0	0
Reino Unido	0	-7813.01002	-0.366286	0	-568.590506
España	0	0	0	0	0
Francia	0	0	0	0	0
Países Bajos	0	0	0	0	0
Kuwait	-4583.86176	-4504.34623	-10.88642	0	0
Venezuela	-257952.481	-35364.8891	-104.385908	0	-1314.74576
Kazajistán	-10834.9433	-7901.61765	-34.895042	0	-51.294085
Emiratos Árabes Unidos	0	0	0	0	0
Argelia	0	0	0	0	-0.000001

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 18, en la parte de los *inputs* se puede observar que, el para Kuwait (-4583.86176), Venezuela (-257952.481) y Kazajistán (-10834.9433) se sugiere una reducción de sus reservas, debido a que las reservas no se pueden reducir, se interpreta como que las reservas no se están aprovechando o extrayendo en la cantidad deseada dado nuestro *output* de relevancia que es barriles de petróleo crudo producidos. Respecto al *input* mano de obra, es el que más destaca en términos de reducción ya que sugieren reducciones importantes de personal para el nodo de exploración y producción, principalmente para China (-204042.971) y Rusia (-168117.48). Para el caso de México de igual manera se sugiere una reducción en su mano de obra en el nodo de exploración y producción de -20313.3196. El tercer *input* dentro del presente nodo es el de las plataformas activas en donde las sugerencias más importantes en términos de reducción son para China (-733.332367) y Rusia (-304.742963), en el caso de México se sugiere una reducción de 1.8540.

En términos de *outputs*, no se sugiere ningún ajuste en el precio esto debido a que es un factor de comportamiento exógeno a cada una de las industrias petroleras. En el caso del *output* barriles de petróleo crudo producidos, las sugerencias más importantes en términos incremento del mismo son para Rusia (-7948.6984), Venezuela (-1314.74576) y México (-1288.00552), esto coincide con los datos analizados para los tres países en términos de la eficiencia del nodo 1 ya que tuvieron ineficiencia en el año 2010.

En la tabla 19 se revisa el análisis de *slacks* del nodo 1 exploración y producción del año 2017.

Se observa en la parte de los *inputs* que, para Venezuela (-296097.819) y Kuwait (-71737.7969) que son los países que más sobresalen, se sugiere una reducción de sus reservas, debido a que las reservas no se pueden reducir, se interpreta como que las reservas no se están aprovechando o extrayendo en la cantidad deseada dado el *output* de relevancia que es barriles de petróleo crudo producidos, para el caso de México existe un desaprovechamiento de las reservas petroleras de -1934.14183. Respecto al *input* mano de obra, es el que más destaca de nueva cuenta en términos de reducción en la mayoría de los países, ya que sugieren reducciones importantes de personal para el nodo de exploración y producción, en este año destacan China (-230208.364) y Rusia (-168112.222). Para el caso de México de igual manera se sugiere una reducción en su mano de obra en el nodo de exploración y producción

de -30861.2942. El tercer input dentro del presente nodo es el de las plataformas activas en donde las sugerencias más importantes en términos de reducción son para China (-840.945961) y Rusia (-296.365556), en el caso de México se sugiere una reducción de -9.375961.

Respecto a los *outputs*, no se sugiere ningún ajuste en el precio de nueva cuenta ya que es un factor de comportamiento exógeno a cada una de las industrias petroleras. En el caso del *output* barriles de petróleo crudo producidos, se sugiere en términos de incremento del mismo para Rusia (-7948.6984) y México (-1056.49315) (véase tabla 19).

<b>Tabla 19</b>					
<b>Análisis de <i>slacks</i> nodo 1: Exploración y producción de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2017</b>					
<b>País</b>	<b>Reservas petroleras</b>	<b>Mano de obra</b>	<b>Plataformas activas</b>	<b>Precio promedio barril</b>	<b>Barriles petróleo producidos</b>
<b>México</b>	-1934.14183	-30861.2942	-9.375961	0	-1056.49315
<b>Rusia</b>	-65306.2021	-168112.222	-296.365556	0	-7948.6984
<b>EUA</b>	0	0	0	0	0
<b>Canadá</b>	0	-37373.9319	-177.245834	0	0
<b>Brasil</b>	-2665.9654	-41004.4219	0	0	-789.514139
<b>China</b>	0	-230208.364	-840.945961	0	0
<b>Angola</b>	0	0	0	0	0
<b>Reino Unido</b>	0	-13266.2038	-2.449403	0	-468.249538
<b>España</b>	0	0	0	0	0
<b>Francia</b>	0	0	0	0	0
<b>Países Bajos</b>	0	0	0	0	0
<b>Kuwait</b>	-71737.7969	0	-46.509008	0	-427.513758
<b>Venezuela</b>	-296097.819	-67921.3346	-182.60874	0	-730.081336
<b>Kazajistán</b>	-23404.3097	-49093.093	-52.650768	0	-184.713086
<b>Emiratos Árabes Unidos</b>	0	0	0	0	0
<b>Argelia</b>	-5443.77077	-24376.0334	-43.592347	0	254.847466

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

## **7.9.- Análisis de *slacks* del nodo transformación industrial**

Para la revisión de *slacks* para el nodo 2 de transformación industrial de igual manera se utilizarán el primer año y el último (2010-2017).

De acuerdo con la tabla 20, se analiza para el año 2010 en primera instancia el *input* mano de obra, el cual señala una reducción únicamente para Rusia (-13617.2383) y para Kazajistán (-8611.03782). Respecto al *input* capacidad máxima de refinación, se le sugiere solamente a Brasil disminuir esta en -473.444928.

Para el *output* rendimiento promedio de las refinерías no se hace ninguna sugerencia para ningún país, respecto al *output* barriles petrolíferos producidos, se le recomienda un incremento de este a México (844.932537), Venezuela (882.29064) y Kazajistán (25.079102), por otro lado, se sugiere una reducción para Argelia (-47.353039) (véase tabla 20).

<b>Tabla 20</b>				
<b>Análisis de <i>slacks</i> nodo 2: Transformación industrial de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2010</b>				
<b>País</b>	<b>Mano de obra</b>	<b>Capacidad máxima Refinación</b>	<b>Rendimiento promedio refinерías</b>	<b>Barriles petrolíferos producidos</b>
México	0	0	0	844.932537
Rusia	-13617.2383	0	0	0
EUA	0	0	0	0
Canadá	0	0	0	0
Brasil	0	-473.444928	0	0
China	0	0	0	0
Angola	0	0	0	0
Reino Unido	0	0	0	0
España	0	0	0	0
Francia	0	0	0	0
Países Bajos	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0
Venezuela	0	0	0	882.29064
Kazajistán	-8611.03782	0	0	25.079102
Emiratos Árabes Unidos	0	0	0	0
Argelia	0	0	0	-47.353039

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

Para el análisis de *slacks* del año 2017, se presenta la tabla 21 con el nodo 2 transformación industrial a continuación:

Tabla 21

**Análisis de *slacks* nodo 2: Transformación industrial de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2017**

País	Mano de obra	Capacidad máxima Refinación	Rendimiento promedio refineries	Barriles petrolíferos producidos
México	0	0	0	825.951735
Rusia	-13617.2383	0	0	0
EUA	0	0	0	0
Canadá	0	0	0	0
Brasil	0	-473.381479	0	0
China	0	0	0	0
Angola	0	0	0	0
Reino Unido	0	0	0	-29.457938
España	0	0	0	0
Francia	0	0	0	0
Países Bajos	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0
Venezuela	0	0	0	1212.55454
Kazajistán	-16246.3378	0	0	-43.670898
Emiratos Árabes Unidos	0	0	0	0
Argelia	0	0	0	28.976244

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

Se puede observar en la tabla 21, que para el año 2017, en primera instancia, el *input* mano de obra señala una reducción únicamente para Rusia (-13617.2383) y para Kazajistán (-16246.3378). Respecto al *input* capacidad máxima de refinación, se le sugiere solamente a Brasil disminuir esta en -473.381479.

Para el *output* rendimiento promedio de las refineries no se hace ninguna sugerencia para ningún país, respecto al *output* barriles petrolíferos producidos, se le recomienda un incremento de este a México (825.951735), Venezuela (1212.55454) y Argelia (28.976244), por otro lado, se sugiere una reducción para Kazajistán (-43.670898) y Reino Unido (-29.457938) (véase tabla 21).

### 7.10.- Análisis de *slacks* del nodo comercialización

Para la revisión de *slacks* para el nodo 3 de comercialización de igual manera se utilizarán el primer año y el último (2010-2017).

En la tabla 22 se observan los *inputs* del nodo 3 para el año 2010, teniendo en primera instancia el *input* de la mano de obra, en el cual se le sugiere únicamente a Kazajistán realizar una reducción de -3238.04558 empleados, para el caso de México de manera particular no se sugiere realizar ningún movimiento.

Respecto a los *outputs* para el año 2010, se tienen tres para el nodo 3 comercialización, el primero es exportaciones de petróleo crudo en el cual, se le sugiere únicamente a España incrementarlas en 1415.95343, para el *output* exportaciones de productos petrolíferos, se sugiere incrementar este para el caso de México (630.78062), Argelia (214.349817) y Kazajistán (107.227611). Respecto al *output* final, únicamente se le sugiere a España tener un incremento en sus ingresos totales de 19189.1069 (Véase tabla 22).

<b>Tabla 22</b>				
<b>Análisis de <i>slacks</i> nodo 3: Comercialización de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2010</b>				
<b>País</b>	<b>Mano de obra</b>	<b>Exportación petróleo crudo</b>	<b>Exportación derivados petróleo</b>	<b>Ingreso</b>
<b>México</b>	0	0	630.78062	0
<b>Rusia</b>	0	0	0	0
<b>EUA</b>	0	0	0	0
<b>Canadá</b>	0	0	0	0
<b>Brasil</b>	0	0	0	0
<b>China</b>	0	0	0	0
<b>Angola</b>	0	0	0	0
<b>Reino Unido</b>	0	0	0	0
<b>España</b>	0	1415.95343	0	19189.1069
<b>Francia</b>	0	0	0	0
<b>Países Bajos</b>	0	0	0	0
<b>Kuwait</b>	0	0	0	0
<b>Venezuela</b>	0	0	0	0
<b>Kazajistán</b>	-3238.04558	0	107.227611	0
<b>Emiratos Árabes Unidos</b>	0	0	0	0
<b>Argelia</b>	0	0	214.349817	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

Para el análisis de *slacks* del año 2017, se presenta la tabla 23 con el nodo 3 comercialización a continuación:

Tabla 23

**Análisis de *slacks* nodo 3: Comercialización de la industria petrolera de los principales países petroleros a nivel mundial 2017**

País	Mano de obra	Exportación petróleo crudo	Exportación derivados petróleo	Ingreso
México	0	0	592.075002	0
Rusia	0	0	0	0
EUA	0	0	0	0
Canadá	0	0	0	0
Brasil	0	0	0	0
China	0	0	0	0
Angola	0	0	0	0
Reino Unido	-99.499366	0	1278.11026	0
España	0	1555.58488	0	0
Francia	0	0	0	0
Países Bajos	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0
Venezuela	0	0	189.220879	13593.8741
Kazajistán	-6966.96229	0	190.043248	7117.56682
Emiratos Árabes Unidos	0	0	0	0
Argelia	0	768.196983	0	30365.7971

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología *DEA Network*.

Se observa en la tabla 23, los inputs del nodo 3 para el año 2017, teniendo en primera instancia el input de la mano de obra, en el cual, se le sugiere al Reino Unido reducirlo en -99.499366 y a Kazajistán realizar una reducción de -6966.96229 empleados, para el caso de México de manera particular no se sugiere realizar ningún movimiento.

Respecto a los *outputs* para el año 2017, se tienen tres para el nodo 3 comercialización, el primero es exportaciones de petróleo crudo en el cual, se le sugiere a España incrementarlas en 1555.58488 y para Argelia incrementarlas en 768.196983, para el *output* exportaciones de productos petrolíferos, se sugiere incrementar este para el caso de México (592.075002), Reino Unido (1278.11026), Venezuela (189.220879) y Kazajistán (190.043248). Respecto al *output* final, se le sugiere a Venezuela tener un incremento en sus ingresos totales de 13593.8741, a Kazajistán de 7117.56682 y a Argelia de 30365.7971 (Véase tabla 23).

# CONCLUSIONES

---

La industria petrolera ha representado, representa y representará una pieza clave muy importante para el desarrollo de muchos países incluyendo México, ya que permite alcanzar el crecimiento y desarrollo económico de estos, así como el seguir sosteniendo industrias clave y desarrollar nuevas industrias que de igual manera beneficiarán de manera importante a estos países.

Dentro de la industria petrolera internacional se pueden encontrar países con una industria petrolera totalmente a cargo del gobierno, privatizadas o una combinación de ambos. Se puede observar también, que los países que tienen privatizado el sector petrolero total o parcialmente logran una mayor eficiencia, sin embargo su forma y constitución desde un inicio son totalmente diferentes, ya que el fin de la mayoría de las industrias petroleras a cargo del gobierno tienen como objetivo no solo generar ingresos importantes para el país si no también generar empleos y un encadenamiento productivo que genere un impacto positivo en el desarrollo económico de estos países, sin embargo varios de estos objetivos en estos países se ha desviado por diversas circunstancias a través de los años.

La presente investigación, por lo tanto, presenta el estudio de la eficiencia de la industria petrolera en México y de los principales países petroleros en el contexto mundial en el periodo del 2010 al 2017. El estudio engloba toda la cadena productiva de dichas industrias en cada país desde el desarrollo de la exploración y producción de pozos petroleros tanto terrestres como marítimos, pasando por su extracción, la transformación del petróleo crudo en nuevos insumos generando valor agregado hasta la comercialización de dichos productos.

Para llevar a cabo la investigación, se implementó el modelo *DEA Network*, el cual de acuerdo con Färe y Grosskopf (1996) examina la estructura tecnológica oculta en la caja negra del modo estándar del modelo DEA. Así mismo, supone  $k$  nodos (o actividades) dentro de la caja negra mencionada. Cada nodo, de manera particular va a contar con entradas intermedias (y/o exógenas) las cuales se usan para producir salidas intermedias (y/o finales).

Para el cálculo de la eficiencia, se desarrolló el modelo con rendimientos variables de escala (VRS) señalando que existen ciertas restricciones que se deben de tomar en cuenta en la vida real para aplicarlas en el modelo las cuales provocan que las unidades no operen en una escala óptima. La orientación asignada al modelo fue una orientación de tipo *output*, la cual hace énfasis en la importancia de las variables de salida.

Para la selección de las DMU's, se eligieron los principales países petroleros en términos de su producción petrolera de acuerdo a la OPEC (2018) y la disponibilidad de datos de cada país para cada uno de los nodos que componen el modelo, por lo tanto, los países (DMU's) objeto de estudio fueron: Rusia, Estados Unidos, Canadá, Brasil, China, México, Angola, Reino Unido, España, Francia, Países Bajos, Kuwait, Venezuela, Kazajistán, Emiratos Árabes Unidos y Argelia.

Para poder llevar a cabo el modelo *DEA Network*, se utilizó la técnica de análisis factorial utilizando el método de componentes principales, donde el valor de las extracciones llamado cargas factoriales, determinaron las variables representativas en el modelo. Posteriormente, se realizó el cálculo de las dimensiones latentes (también conocidas como factores) utilizando el criterio de porcentaje de varianza, obteniendo el 92,66% de la variabilidad contenida en los datos.

El modelo *DEA Network* se estructuró en 3 nodos: el nodo de exploración y producción, el nodo de transformación industrial y el nodo de comercialización. El primer nodo (exploración y producción) está compuesto por tres *inputs*: reservas petroleras, número de plataformas activas y número de empleados; mientras que los *outputs* son: precio promedio por barril de petróleo crudo producido y cantidad de barriles de petróleo crudo producidos, siendo este último *output* la conexión/*output* intermedio para el siguiente nodo. El segundo nodo (transformación industrial) está compuesto por los siguientes *inputs*: cantidad de barriles de petróleo crudo producidos (*output/input* intermedio), capacidad máxima de refinación y número de empleados, los *outputs* de este segundo nodo fueron: rendimiento promedio de las refinerías y la producción de productos petrolíferos, este último *output* la conexión/*output* intermedio para el último nodo. El tercer nodo (comercialización), está compuesto por los siguientes *inputs*: producción de productos petrolíferos, barriles de petróleo crudo producidos (ambos *inputs/outputs* intermedios) y el número de empleados;

como *outputs* se tienen: exportaciones de petróleo crudo, exportaciones de productos petrolíferos y las ventas totales de la industria petrolera.

De los resultados obtenidos a través del modelo *DEA Network*, se encontró que el promedio global de eficiencia fue de 88% aplicando el modelo de eficiencia técnica con rendimientos variables de escala y una orientación *output*. Sobresalieron las industrias petroleras para el periodo 2010-2017 los siguientes países: Estados Unidos, Angola, Francia y los Emiratos Árabes los cuales fueron eficientes en el periodo señalado. Los países que tuvieron los más bajos niveles de eficiencia fueron México y Venezuela.

Los resultados de la eficiencia técnica en el modelo *DEA Network* por nodos, aunque en términos generales hay tendencias similares a las presentadas en la eficiencia técnica global de la industria petrolera, tienen diferenciar importantes a observar:

El promedio del nodo 1 de exploración y producción fue de 94.5% aplicando el modelo de eficiencia técnica con rendimientos variables de escala y una orientación *output*. Sobresalieron en este nodo en el periodo 2010-2017 los siguientes países: Estados Unidos, Angola, Francia, Países Bajos, España y los Emiratos Árabes. Los países que tuvieron los más bajos niveles de eficiencia fueron Canadá, Venezuela y México.

En el análisis *benchmarking* para el nodo 1 de exploración y producción los países que más sirvieron como referencia para los demás países fueron: Argelia, Estados Unidos, Rusia, Reino Unido

En el análisis de *slacks* para el nodo 1 de exploración y producción los países que menos aprovechan sus reservas petroleras de acuerdo a los barriles que producen para el año 2017 son: México, Brasil, Kuwait y Venezuela. El mismo caso sucede con la mano de obra, y las plataformas petroleras activas.

Es importante para el caso de México revisar lo que están haciendo Estados Unidos, Países Bajos y Emiratos Árabes ya que son países que se toman como referencia para mejorar dentro de este nodo, cabe destacar que dentro de este grupo de países que se recomiendan hay tanto empresas particulares (Estados Unidos y Países Bajos) como estatales como es el caso de Emiratos Árabes Unidos. El análisis de *slacks* señala que, dentro del presente nodo, para el

caso de México, es recomendable aprovechar la capacidad de reservas de petróleo con las que cuenta el país ya que estas no están siendo explotadas de manera eficiente, por lo cual es importante el avance en términos de investigación y desarrollo tecnológico para incrementar la capacidad de exploración y producción de petróleo. De igual manera, se recomienda atender la situación de mano de obra dentro de este nodo, ya que existe un alto número de trabajadores relacionado a los niveles de producción, esto podría mejorar revisando la relación con los sindicatos y un incremento en la extracción del crudo. Respecto a las plataformas activas estas deben de ser aprovechadas en una mayor capacidad, sin embargo y de nueva cuenta, esto dependerá de los niveles de producción basados en términos de reservas.

El promedio del nodo 2 de transformación industrial fue de 90.0% aplicando el modelo de eficiencia técnica con rendimientos variables de escala y una orientación *output*. Sobresalieron en este nodo en el periodo 2010-2017 los siguientes países: Estados Unidos, China, Angola, Francia, España y los Emiratos Árabes. Los países que tuvieron los más bajos niveles de eficiencia Venezuela y México.

En el análisis *benchmarking* para el nodo 2 de transformación industrial los países que más sirvieron como referencia para los demás países fueron: Argelia, Estados Unidos, Rusia, Reino Unido.

En el análisis de *slacks* para el nodo 2 de transformación industrial los países que menos aprovechan sus reservas petroleras de acuerdo a los barriles que producen para el año 2017 son: México, Brasil, Kuwait y Venezuela. El mismo caso sucede con la mano de obra, y las plataformas petroleras activas.

En este nodo, para el caso de México se le pide especial atención en la producción de productos petrolíferos, ya que es aquí donde se encuentra la mayor ineficiencia, debido a la caída en la producción de estos. Esta idea va de la mano con las políticas energéticas del actual gobierno de México en las cuales se busca impulsar el incremento de productos petrolíferos a través del mantenimiento y mejoramiento de las refinerías, las cuales estuvieron muy descuidadas durante varios años, así como la creación de una nueva refinería en Tabasco para incrementar dicha producción.

El promedio del nodo 3 de comercialización fue de 86.8% aplicando el modelo de eficiencia técnica con rendimientos variables de escala y una orientación *output*. Sobresalieron en este nodo en el periodo 2010-2017 los siguientes países: Rusia, Estados Unidos, Angola, Francia, Países Bajos, Kuwait y los Emiratos Árabes. Los países que tuvieron los más bajos niveles de eficiencia Venezuela y España.

En el análisis *benchmarking* para el nodo 3 de comercialización los países que más sirvieron como referencia para los demás países fueron: Argelia, Estados Unidos, Rusia, Reino Unido.

En el análisis de *slacks* para el nodo 3 de comercialización los países que menos aprovechan sus reservas petroleras de acuerdo a los barriles que producen para el año 2017 son: México, Brasil, Kuwait y Venezuela. El mismo caso sucede con la mano de obra, y las plataformas petroleras activas.

Para el caso de México para lograr alcanzar una eficiencia máxima se recomienda incrementar sus exportaciones de productos derivados del petróleo. Esta recomendación va muy de la mano con los dos nodos anteriores, ya que sin un incremento de la extracción y producción petrolera no puede existir un incremento en la refinación de petróleo, por lo tanto, no se puede incrementar la exportación de dichos productos, sin embargo, más allá de buscar el incremento de exportaciones de productos petrolíferos, se debe de buscar satisfacer las necesidades de oferta y demanda del mercado interno, ya que esto favorecerá al crecimiento de dicha industria y en consecuencia favorecerá al crecimiento del país. Es importante destacar que al realizar lo anterior señalado, en primera instancia se reducirían los altos costos de importar productos derivados del petróleo sujetos a la volatilidad del tipo de cambio en dólares. De igual manera favorecería la inversión y la generación de empleo y en cierto punto a través de los años México se podría convertir en un país que exporte en una importante cantidad productos derivados del petróleo, los cuales le generarían mayores ganancias que si exportaran solo el petróleo crudo.

Al implementar el Modelo *DEA Network* para México de manera conjunta para los tres nodos: (exploración y producción, transformación industrial y comercialización) del grupo de países considerado, fue el que tuvo los niveles más bajos de eficiencia técnica global durante el período de estudio con un promedio del orden de 66,4%.

En el modelo *DEA Network* por nodos, México alcanzó sus niveles más altos de eficiencia en el nodo 1 exploración y Producción, caracterizada aquí por tener niveles bastante altos de eficiencia, sin llegar a ser eficiente en ninguno de los años analizados. Por otro lado, en el nodo 2 de transformación industrial, se encuentran los niveles más bajos de eficiencia, incluso con disminuciones significativas para los años 2010, 2016 y 2017. En el nodo 3 de comercialización, los niveles de eficiencia técnica están muy por encima de la eficiencia logrado en el nodo 2, pero sin alcanzar la eficiencia técnica promedio que se da en el nodo 1.

La hipótesis propuesta, por lo tanto, se cumple ya que los resultados evidencian que es el nodo de exploración y producción que determinó la eficiencia técnica global de los principales países petroleros durante el período 2010-2017. En el caso particular de México, también es este nodo el que determina su eficiencia técnica general durante los años estudiados.

## RECOMENDACIONES

---

La industria petrolera seguirá siendo una parte fundamental para el crecimiento y desarrollo económico no solo de México, sino para prácticamente todas las economías petroleras del mundo durante muchos años más, ya que directa o indirectamente tanto el petróleo crudo como sus derivados son indispensables en el desarrollo de sus demás sectores industriales.

El continuar con los estudios sobre la industria petrolera, ya sea desde la perspectiva de la eficiencia, productividad, competitividad o desempeño es fundamental no solo para México, sino también para los países que dependen de los ingresos de este recurso natural, ya que, como se ha discutido y analizado en el presente trabajo de investigación, la industria petrolera seguirá siendo la fuente principal de energía en el mundo durante varias décadas más.

Se ha demostrado de igual manera con la presente investigación sobre la eficiencia de la industria petrolera, que la metodología *DEA Network* es una herramienta poderosa para el análisis de las industrias encadenadas productivamente, por lo cual, se recomienda utilizarla no solo en otras áreas de la industria petrolera como lo pueden ser de manera específica el *upstream* a través de un análisis y desempeño de pozos o bien el *downstream* a través del estudio de procesadoras de gas natural, petroquímicas entre otras, sino también para estudiar otras industrias del sector energético a nivel mundial, como puede ser el estudio de energías limpias, energías renovables, etc.

La realización de este tipo de estudios es importante en la medida en que permite identificar las deficiencias del sector petrolero como es el caso de la presente investigación, en términos globales (siempre y cuando se consideren conjuntamente todos sus nodos) y en cada una de sus etapas o nodos, que pueden contribuir al diseño de políticas energéticas en este caso, de los países que se encuentran en dicho estudio y en particular para México.

Para ampliar el campo de conocimiento e investigación de la industria petrolera, se recomienda, a modo de estudios de líneas futuras, aplicar otro tipo de metodologías ya sean complementarias como es el caso de estudio de la eficiencia asignativa, la cual, en conjunto

con la eficiencia técnica, aplicada en la presente investigación, conforman la eficiencia económica global. De igual manera, se recomienda aplicar otro tipo de metodologías como es el caso del análisis de frontera estocástica, la cual se caracteriza por la habilidad de una unidad productiva para maximizar el producto dado de un conjunto de insumos, y este a su vez, permita identificar el cambio tecnológico en la presente industria, o bien, realizar estudios a través del QCA, metodología que tiene otra perspectiva de análisis dada la naturaleza de los datos y el tamaño de la muestra que se obtenga.

Cabe destacar que hay otros campos de estudio dentro de la industria petrolera, específicamente para el caso de México es importante revisar que efectos ha tenido la reforma energética, no solo sobre los niveles de productividad y eficiencia, sino también a nivel PEMEX como empresa. Dentro de estos estudios también es de llamar la atención el análisis sobre los efectos que tiene la industria petrolera en el medio ambiente, ya que este tema forma parte fundamental en las agendas de los organismos internacionales.

La pandemia de la COVID-19 que se ha vivido a nivel mundial en el último año, ha provocado grandes estragos no solo en la industria petrolera internacional, sino en todas las actividades en todos los rubros del ser humano. Por lo tanto, se sugiere realizar estudios post COVID-19 en la industria petrolera sobre comercialización, cadenas de distribución, cadenas de valor, logística internacional y comportamiento en los mercados financieros, para medir los efectos que ha tenido dicha pandemia en la presente industria.

Por último, en términos prácticos, es importante analizar a detalle los resultados obtenidos a través de la presente investigación ya que estos brindan soluciones importantes para el diseño de políticas dentro del sector energético, especialmente para México y su industria petrolera, la cual, ha estado pasando por diversos altibajos los últimos años y ha necesitado de soluciones reales que le den un cambio drástico a la forma de manejar y operar dicha industria.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M. et al. (2014). *Consideraciones sobre la reforma de la industria petrolera en México*. Economía-UNAM Vol. 11 núm. 33. UNAM.
- Aigner, D. y Chu, S. (1968). On Estimating the Industry Production Function. *American Economic Review*, 226-239.
- Alaminos, A. (2018). La comercialización de petróleo entre México y Estados Unidos en el marco del tratado de 19421. *Historia Mexicana*, El Colegio de México, Vol. 67, Núm. 4 (268).
- Asociación Colombiana de Petróleo (ACP) (2017). ¿Para qué sirve el petróleo? Los 6 usos más comunes. Recuperado de <https://acp.com.co/web2017/es/sala-de-prensa/en-los-medios/886-para-que-sirve-el-petroleo-los-6-usos-mas-comunes>
- Banco Mundial (2018). Indicador de rentas del petróleo (% del PIB). Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PETR.RT.ZS?end=2020&start=1970&view=chart>.
- Banco Mundial (2018). Indicador de rentas del petróleo en México (% del PIB). Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PETR.RT.ZS?end=2020&locations=MX&start=1970&view=chart>
- Banker R., Charnes A. y Cooper W. (1984). *Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis*. *Management Science*, 1078-1093
- Bembibre, C. (2011). Petróleo. Recuperado de <https://www.importancia.org/petroleo.php>
- Benítez, R. (1972). *México 1920-1945. La expropiación petrolera y la reinserción de México al sistema internacional*. 2da Ed. páginas. 13-18. El Colegio de México. México.
- Bosch, E. A., Navarro, A. I., & Giovagnoli, P. I. (1999). Eficiencia Técnica y Asignativa en la Distribución de Energía Eléctrica: El Caso de EPE SF. *Asociación Argentina de Economía Política*, 1-24.
- Bunge, M. (1979). *La ciencia, su método y su filosofía*. Ed. Siglo Veinte, Buenos Aires.
- Bunge, M. (1999). *Buscar la filosofía en las ciencias sociales*. Ed. Siglo XXI, México.
- Brinkley, D. (2003). *Wheels for the world: Henry Ford, His Company, and a Century of Progress, 1903-2003*. 1 Ed. New York.
- Cavalheiro, C. Rodrigues, M. Ribeiro, D. (2012). *Efficiency in Brazilian refineries under different DEA technologies*. *International Journal of Engineering Business Management*.

- Charnes A., Cooper W. y Rhodes, E. (1962). *Programming with Linear Fractional Functionals*. Naval Research Logistics Quarterly, 181-185.
- Charnes, A. Cooper, W. y Rhodes, E. (1978). *Measuring the efficiency of decision making units*. European journal of operational research, Vol. 2, No. 6.
- Charnes A., Cooper W. y Rhodes, E. (1981). *Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through*. Management Science, 668-697.
- Central Intelligence Agency (CIA). (2017). Country comparison, crude oil production. Recuperado de <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2241rank.html#mx>
- Central Intelligence Agency (CIA). (2017). Country comparison, crude oil – proved reserves. Recuperado de <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2244rank.html#mx>
- Coll, V. y Blasco, O. (2006). *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos: introducción a los modelos básicos*. Universidad de Valencia.
- Colegio de México. (COLMEX). (2018). Fuentes para la historia del petróleo en México. Recuperado de <http://petroleo.colmex.mx/index.php/linea/57>
- Cooper W., Seiford L. y Zhu J. (2004). *Data Envelopment Analysis: History, Models and Interpretations*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2000). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA- Solver Software*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Debreu, G. (1951). “The coefficient of resource utilization”, *Econometrica*, 19(3), 273-292.
- Delfín, O. y Navarro, J. (2014). *La eficiencia de los puertos en México*. 1ra Ed. UMSNH-CONACYT, Morelia, Michoacán, Méx.
- De la Fuente, S. (2011). *Análisis factorial*. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Autónoma de Madrid.
- EIA (Energy Information Administration) (2019). *Background reference: Venezuela*. Recuperado de [https://www.eia.gov/beta/international/analysis\\_includes/countries\\_long/Venezuela/venezuela\\_bkgd.pdf](https://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/Venezuela/venezuela_bkgd.pdf)
- Emirates National Oil Company (ENOC) (2019). *ENOC at a Glance*. Recuperado de <https://www.enoc.com/en/about-us/enoc-at-a-glance>

- Emirates National Oil Company (ENOC) (2019), “Annual review, 2018”, ENOC, Available at: [https://www.enoc.com/portals/0/ModuleContent/PDF/Files/ENOC\\_32162\\_Annual\\_Review\\_2018.pdf](https://www.enoc.com/portals/0/ModuleContent/PDF/Files/ENOC_32162_Annual_Review_2018.pdf)
- Exxon Mobil (2020), “United States operations”, Exxon Mobil Corporation, available at: <https://corporate.exxonmobil.com/Locations/United-States>
- Exxon Mobil (2021). *Key takeaways of 2040 projections*. Recuperado de <https://corporate.exxonmobil.com/Energy-and-innovation/outlook-for-energy>
- Farrell, M. (1957). *The measurement of productive efficiency*. Journal of the royal statistical society, Vol. 120.Part II. 253-290.
- Farrell, M. J., & Fieldhouse, M. (1962). Estimating Efficient Productions Functions under Increasing Returns to Scale. *Jornal of the Statistical Society*, 252-267.
- Forbes. (2018). World’s 25 biggest oil & gas companies in 2017. Recuperado de <https://www.forbes.com/pictures/591c6a1fa7ea434078d41870/sempraenergy/#610036003d06>
- Forsund, F. y Hjalmarsson, L. (1974). “On the Measurement of Productive Efficiency”, *Swedish Journal of Economics*, 76, pp. 141-54.
- Forsund, F., Hjalmarsson, L., Gaunitz, S. y Wibe, S. (1980). “Technical Progress and Structural Change in the Swedish Pulp Industry 1920-1974”, in T. Puu and S. Wibe (eds) *The Economics of Technological Progress*. (London: Macmillan).
- Forsund, F. Lovell, C. y Schmidt, P. (1980). *A sourvey of frontier production functions and of their relationship to efficiency measurement*. Journal of econometrics.
- Gil, G. (2008). La crisis del petróleo en México. In G. Gil Valdivia, & S. Chacón Domínguez, *La crisis del petróleo en México* (p.33). Ciudad de México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C.
- Goldstein, A. (1999), “Brazilian privatization in international perspective: the rocky path from state capitalism to regulatory capitalism,” *Industrial and Corporate Change*, Vol. 8, No.4
- González-Páramo, J. (1995). Privatización y Eficiencia: ¿Es Irrelevante la Titularidad? *Economistas*, 32-43.
- Guzmán, E. y Mina, F. (1951). *Resultados de las perforaciones de petróleos mexicanos en 1950*. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Mayo – Junio. México.

- Hartley, P. Medlock, K. (2011). *The revenue efficiency of PEMEX: a comparative approach*. The future of oil in Mexico. James A. Baker III Institute for Public Policy Rice University.
- Hernández-Laos, E. (1985). *La Productividad y el Desarrollo Industrial en México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- IEA (International Energy Agency) (2020). Oil market report April – 2020. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-april-2020>
- Industria Petrolera (2012). Datos que debes saber acerca del petróleo y de la industria petrolera. Recuperado de <http://www.industriapetroleramexicana.com/tag/industria-petrolera/>
- Industria Petrolera (2012). Historia de la industria petrolera en la república mexicana. Recuperado de <http://www.industriapetroleramexicana.com/tag/petromex/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Economía y petróleo. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/petroleo/default.aspx?tema=S>
- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). (2014). *Tipos de petróleo*. Recuperado de agosto 2016. De <http://www.imp.mx/petroleo/?imp=tipos>
- Jenkins, R. (1998). *Environmental Regulation and International Competitiveness: A Review of Literature and Some European Evidence. Discussion Paper Series No. 9801*. Institute for New Technologies, The United Nations University, Maastricht.
- KazMunayGas. (2019). *About the company*. Recuperado de [http://www.kmg.kz/eng/kompaniya/obshaya\\_informaciya/](http://www.kmg.kz/eng/kompaniya/obshaya_informaciya/)
- KNPC. (Kuwait National Petroleum Company) (2019). *Who we are*. Recuperado de <https://www.knpc.com/en/about-us/who-we-are>
- Koontz, H. y Wehrich, H. (1998). *Administración. Una perspectiva global*. 11va Ed. McGraw-Hill, México.
- Koopmans, T. (1951). “An analysis of production as an efficient combination of activities”, en T.C. Koopmans ed. *Activity analysis of production and allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph n. 13, New York, Wiley.
- Lajous, A. (2013). *La reforma petrolera mexicana y su contexto externo*. Intervención en el seminario *Petróleo y Gas Natural en América del Norte: los cambios recientes y sus consecuencias geopolíticas*, El Colegio de México, 19 de noviembre, 2013.
- Lajous, A., Morayta, G. and Mabire, B. (2019), “Declinación y destino de las exportaciones de petróleo crudo mexicano / decline and recipients of mexican crude oil exports / Diminution et destinations des exportations de pétrole brut mexicain”, Foro

- Internacional, 59(1 (235)), pp.189-260. Retrieved April 25, 2020, from [www.jstor.org/stable/26565748](http://www.jstor.org/stable/26565748)
- Lo, F., Chien, C., y Lin, J. (2001). A DEA Study to Evaluate the Relative Efficiency and investigate the District Reorganization of the Taiwan Power Company. *IEEE Transactions on Power Systems* , 170-178.
- Lukoil company (2018). History. Recuperado de <http://www.lukoil.com/Company/history>
- Mercado, E., Díaz, E., y Flores, M. (1997). *Productividad Base de la Competitividad*. México: Limusa.
- Meyer, L. (1971). *Los límites de la política Cardenista: la presión externa*. Revista de la Universidad de México. Vol. XXV No.9. México.
- Montoya, O. (2007). *Aplicación del análisis factorial a la investigación de mercados. Caso de estudio*. Scientia et Technica Año XIII, No. 35, Agosto. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Navarro, J. (2005). *La eficiencia del sector eléctrico en México*. 1ra Ed. UMSNH-ININEE, Morelia, Michoacán, Méx.
- OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) (2020). *Crude oil production indicator*. Recuperado de <https://data.oecd.org/energy/crude-oil-production.htm>
- Oliveira, R. and Sturgeon, T. (2017), “From Resource Extraction to knowledge Creation: Oil-Rich States, Oil Companies and the Promotion of local R&D”, Working Paper 17 – 003, MIT – IPC, September.
- Olvera, A. (1989). *Los obreros del petroleo y la nacionalización de la industria petrolera: Historia oral, hisotria oficial y sus límites*. Secuencia, 13, enero-abril, 174-187. México.
- Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC) (2018). Oil Countries Data Download. Recuperado de <https://asb.opec.org/index.php/data-download>
- Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC) (2018), “2018 OPEC Annual Statistical Bulletin”, OPEC, available at: <https://asb.opec.org/index.php/pdf-download>
- Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC) (2019), World Oil Outlook 2040, OPEC Secretariat, Vienna, Austria.
- Ovadia, J. (2012), “The dual nature of local content in Angola's oil and gas industry: development vs. elite accumulation”, *Journal of Contemporary African Studies*, 30: 3,395-417, doi: 10.1080/02589001.2012.701846

- Parra, F. (2005). *Oil politics: a modern history of petroleum*. 2da Ed. I. B. Tauris & Co. Ltd, New York, USA.
- PDVSA (Petroleos de Venezuela) (2019). *La industria*. Recuperado de [http://www.pdvsa.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8917&Itemid=569&lang=es](http://www.pdvsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8917&Itemid=569&lang=es)
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2017). Acerca de PEMEX en contexto. Recuperado de <http://www.pemex.com/acerca/Paginas/default.aspx>
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2018). Base de Datos Institucional. Recuperado de <http://ebdi.pemex.com/bdi/bdiController.do?action=temas&language=en>
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2018). Indicadores petroleros. Recuperado de <http://ebdi.pemex.com/bdi/bdiController.do?action=temas&language=en>
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2018). Historia, Recuperado de <http://www.pemex.com/acerca/historia/Paginas/default.aspx>
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2021). Reporte de estado de salud de trabajadores y derechohabientes de PEMEX afectados por COVID-19, Boletín 105. Recuperado de [https://www.pemex.com/saladeprensa/boletines\\_nacionales/Paginas/2021-105\\_nacional.aspx](https://www.pemex.com/saladeprensa/boletines_nacionales/Paginas/2021-105_nacional.aspx)
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2015). *Finanzas*. Recuperado agosto 2016. De [http://www.pemex.com/ri/finanzas/Resultados%20anuales/141231\\_tablas\\_e.xls](http://www.pemex.com/ri/finanzas/Resultados%20anuales/141231_tablas_e.xls)
- Pérez, S. y González, A. (2015). *La crisis petrolera y las repercusiones de la reforma energética en México*. ICEA-UAEH.
- Pessôa F., Pedro de Alcântara, Silva F., y G. Ali (2006), "An update on the developments in petroleum production research in Brazil," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 51, Nos. 1-2
- Priego O. Cano M. y Olivera D. (2017). *La Reforma Energética y el Futuro de la Actividad Petrolera: (Una reflexión a tres años de las Reformas Estructurales)*. Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C., México.
- Puyana, A. (2009). *El petróleo y el crecimiento económico, ¿Un recuento de oportunidades perdidas?* Economía Informa. Num. 361 noviembre-diciembre.
- Ricardo, A. (2007). *El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe*. CEPAL. Chile.
- Rosneft, (2018). History. Recuperado de <https://www.rosneft.com/about/History/>

- Salgado, E. (2017). *Industria petrolera mexicana: inversión y desarrollo*. Industria + energía. Enero – febrero 2017. México.
- Soares de Oliveira, R. (2007), “Business success, Angola-style: Postcolonial politics and the rise of Sonangol”, *Journal of Modern African Studies* 45, no. 4: 595\_619.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics* , 312-320.
- SONATRACH. (2019). *SONATRACH, locomotive de l'économie Algérienne*. Recuperado de <https://sonatrach.com/presentation>
- Song, M. Zhang, J. y Wang, S. (2014). *Review of the network environmental efficiencies of listed petroleum enterprises in China*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43 (2015) 65–71. ELSEVIER.
- Sueyoshi, T. Wang, D. (2018). *DEA Environmental Assessment on US Petroleum Industry: Nonradial Approach with Translation Invariance in Time Horizon*. Energy Economics. USA.
- Total (2020), “Universal Registration Document 2019”, Total, available at: [https://www.total.com/system/files?file=documents/202004/2019\\_total\\_universal\\_registration\\_document.pdf](https://www.total.com/system/files?file=documents/202004/2019_total_universal_registration_document.pdf)
- Trebat, T. (1983), *Brazil's State-Owned Enterprises*, Cambridge University Press. van Zanden, Jan Luiten, Stephen Howarth, Joost Jonker and Keetie Sluijterman (2007), *A History of Royal Dutch Shell*, Boom Publishers/Oxford University Press.
- Tsutsui, M. y Tone, K. (2005). *Application of Network DEA Model to Vertically Integrated Electric Utilities*. GRIPS Policy Information Center. Discussion paper: 07:03.
- UNESCO, (2016). *Políticas de ciencias, tecnología e innovación sustentable e inclusiva en América Latina*. Oficina de Montevideo, Uruguay.
- Varian, H. (1998) *Microeconomía Intermedia*, Cuarta Edición, Antoni Bosch, editor.
- Yarad, A. J. (1990). Un Nuevo Esquema de Regulación de Monopolios Naturales. *Estudios Públicos* 37 , 165-226.

# ANEXOS

**Cuadro 1**

**Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2017 (1)**

NO	DMU	Score	Proportionate Movement (Resvpet)	Slack Movement (Resvpet)	Projection (Resvpet)	Proportionate Movement (ManoEP)	Slack Movement (ManoEP)	Projection (ManoEP)	Proportionate Movement (PlatAc)
1	P1	0.580696	0	1934.141825	4602.858175	0	30861.29424	8994.705757	0
2	P10	1	0	0	72	0	0	13023	0
3	P11	1	0	0	140	0	0	18000	0
4	P12	0.967396	0	- 71737.79687	29762.20313	0	0	10320.6	0
5	P13	0.603768	0	- 296097.8185	6711.181458	0	- 67921.33464	4740.465363	0
6	P14	0.81742	0	- 23404.30969	6595.690306	0	- 49093.09299	4973.507006	0
7	P15	1	0	0	97800	0	0	6780	0
8	P16	0.879104	0	- 5443.770767	6756.229233	0	- 24376.03344	4649.566558	0
9	P2	0.972606	0	- 65306.20212	14693.79789	0	-168112.222	17607.778	0
10	P3	1	0	0	32773	0	0	146000	0
11	P4	0.885446	0	0	3800	0	- 37373.93194	18262.06806	0
12	P5	0.975902	0	- 2665.965402	9968.034598	0	- 41004.42194	5974.578057	0
13	P6	0.978418	0	0	25627	0	- 230208.3643	47344.63571	0
14	P7	1	0	0	8384	0	0	1365	0
15	P8	0.825161	0	0	2069	0	- 13266.20376	4433.796245	0
16	P9	0.873527	0	0	200	0	0	4291	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

**Cuadro 1**

**Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2017 (2)**

Projection (PlatAc)	Proportionate Movement (ManoT)	Slack Movement (ManoT)	Projection (ManoT)	Proportionate Movement (Cmaxref)	Slack Movement (Cmaxref)	Projection (Cmaxref)	Proportionate Movement (Manoc)	Slack Movement (Manoc)
5.624039	0	0	39913	0	0	1690	0	0
1	0	0	47985	0	0	1303.246333	0	0
4	0	0	40000	0	0	1112.571	0	0
31.490992	0	0	5160	0	0	762	0	0
6.39126	0	0	36330.9	0	0	1890.633	0	0
6.349232	0	- 16246.33782	10786.96218	0	0	345.093	0	-6966.96
59	0	0	3390	0	0	1124	0	0
6.407653	0	0	14512.8	0	0	650.823288	0	0
35.634444	0	- 13617.23828	69361.76172	0	0	5964.75	0	0
930	0	0	114800	0	0	18412.66667	0	0
27.754166	0	0	33633	0	0	1965.7	0	0
14	0	0	13914	0	- 473.381479	1804.418521	0	0
101.054039	0	0	143253	0	0	12888.96667	0	0
7	0	0	507	0	0	80.3	0	0
2.550597	0	0	42100	0	0	1302	0	-99.4993
1	0	0	18604	0	0	1427.5	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

**Cuadro 1****Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2017 (3)**

Projection (Manoc)	Proportionate Movement (Prprombr)	Slack Movement (Prprombr)	Projection (Rpromref)	Proportionate Movement (Rpromref)	Slack Movement (Rpromref)	Projection (Rpromref)	Proportionate Movement (Expcrud)	Slack Movement (Expcrud)
3987	7.513698	0	54.240375	1288.332278	0	2055.669932	412.816541	0
2433	0	0	50.2	0	0	1852.75	0	0
17000	0	0	54.17	0	0	1081.401171	0	0
1720	2.406064	0	54.006064	38.752023	0	750.083909	0	0
12110.3	6.643621	0	54.273621	1121.710414	0	2169.59556	1211.414787	0
2044.137707	1.4718	0	54.2718	110.933404	0	444.11922	423.896486	0
1130	0	0	53.08	0	0	1067.329854	0	0
4837.6	0.194332	0	54.274332	107.760167	0	755.735917	153.500026	768.196983
93661	0.939251	0	54.209251	373.670361	0	5962.042178	0	0
25245	0	0	50.82	0	0	16893	0	0
14300	15.129023	0	54.109023	0	0	1992.623893	0	0
1810	3.739553	0	54.219553	0	0	1677.416667	0	0
51863	3.351127	0	53.991127	0	0	12219.25	0	0
2385	0	0	54.3	0	0	54.833333	0	0
14100.50063	0.029745	0	54.199745	680.131372	0	1767.548039	6.688029	0
2190	0	0	54.17	0	0	1316.747696	0	1555.584883

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 2

## Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2016 (1)

NO	DMU	Score	Proportionate Movement (Resvpet)	Slack Movement (Resvpet)	Projection (Resvpet)	Proportionate Movement (ManoEP)	Slack Movement (ManoEP)	Projection (ManoEP)
1	P1	0.612136	0	-5249.249838	4461.750162	0	-20169.8958	20530.10421
2	P10	1	0	0	72	0	0	13975
3	P11	1	0	0	113	0	0	22000
4	P12	0.937649	0	-65016.16457	36483.83543	0	0	10297.8
5	P13	0.657639	0	-293235.5825	9014.417508	0	-62530.14705	25205.45295
6	P14	0.772286	0	-16507.1869	13492.81311	0	-26864.44331	29544.55669
7	P15	1	0	0	97800	0	0	6180
8	P16	0.914311	0	0	12200	0	0	26352.6
9	P2	0.9789	0	-64635.88618	15364.11382	0	-111192.3153	48913.68467
10	P3	1	0	0	32318	0	0	169800
11	P4	0.844228	0	0	3800	0	-32372.21033	24976.78968
12	P5	0.899959	0	0	13000	0	0	51255
13	P6	0.951933	0	-6038.696464	19581.30354	0	-207296.4824	78983.51763
14	P7	1	0	0	9523	0	0	1481
15	P8	0.847943	0	-7.278393	2556.721607	0	-6515.646219	12184.35378
16	P9	0.778239	0	0	200	0	0	4519

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 2

## Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2016 (2)

Slack Movement (Cmaxref)	Projection (Cmaxref)	Proportionate Movement (Manoc)	Slack Movement (Manoc)	Proportionate Movement (Prprombr)	Slack Movement (Prprombr)	Projection (Prprombr)	Proportionate Movement (Rpromref)	Slack Movement (Rpromref)
0	1690	0	0	8.148255	0	43.7962	1049.5957	0
0	1406	0	0	0	0	40.3	0	0
0	1112.571	0	0	0	0	43.76	0	0
0	936	0	0	3.113068	0	42.4130	96.337316	0
0	1890.633	0	-3051.27	9.931476	0	43.9514	981.962541	0
0	345.093	0	-7311.90	3.144913	0	43.954913	98.064415	0
0	1124	0	0	0	0	41.39	0	0
0	650.8238	0	0	0	0	44.02	28.092758	0
0	6086	0	0	1.742042	0	43.90204	133.457324	0
0	18401	0	0	0	0	43.27	0	0
0	1965.702	0	0	14.089645	0	43.73964	146.163908	0
46.718833	2231.081	0	0	0	0	39.36	248.668684	0
0	12497.26	0	0	5.754825	0	43.7448	0	0
0	80.3	0	0	0	0	42.83	0	0
0	1302	0	-1316.004	0.033553	0	43.7935	580.294065	0
0	1427.5	0	0	0	0	43.76	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

**Cuadro 2**

**Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2016 (3)**

Proportionate Movement (Expcrud)	Slack Movement (Expcrud)	Projection (Expcrud)	Proportionate Movement (Exppetr)	Slack Movement (Exppetr)	Projection (Exppetr)	Proportionate Movement (Ingreso)	Slack Movement (Ingreso)
695.442734	0	1969.776067	99.897646	642.481408	925.432084	28510.50935	0
0	0	0.8	0	0	428.063889	0	0
0	0	6.6	0	0	2303.539192	0	0
0	0	2128.19	0	0	707.38	0	0
841.396636	0	2676.363849	120.384222	114.274298	497.199504	22010.59562	0
612.05014	0	1843.55014	0	189.674949	189.674949	2699.680358	6434.99739
0	0	2407.847574	0	0	630	0	0
159.167494	771.796093	1599.225289	128.885381	0	670.008206	6647.642302	35027.28027
0	0	5080.583333	0	0	2501.7	0	0
0	0	519.583333	0	0	4668	0	0
0	0	2742.05113	0	0	435.904339	0	0
174.093166	0	1065.343166	24.303048	718.64287	867.362585	15901.32308	0
0	0	58.333333	0	0	1088.454173	0	0
0	0	1670.065801	0	0	54.303962	0	0
7.795998	0	628.052729	6.576621	1307.982102	1837.800737	2345.448034	0
0	1909.020892	1909.020892	361.497726	0	784.373479	32789.69814	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

**Cuadro 3**

**Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2015 (1)**

NO	DMU	Score	Proportionate Movement (Resvpet)	Slack Movement (Resvpet)	Projection (Resvpet)	Proportionate Movement (ManoEP)	Slack Movement (ManoEP)	Projection (ManoEP)	Proportionate Movement (PlatAc)
1	P1	0.625895	0	-5738.122891	3972.877109	0	-25940.60868	24222.39132	0
2	P10	1	0	0	80	0	0	15366	0
3	P11	1	0	0	100	0	0	22000	0
4	P12	0.978541	0	-37707.47154	63792.52846	0	0	10408.8	0
5	P13	0.726966	0	-294541.7793	6336.220651	0	-64440.64013	25578.55987	0
6	P14	0.745139	0	-15828.51995	14171.48006	0	-26706.62708	32215.17292	0
7	P15	1	0	0	97800	0	0	5737.2	0
8	P16	0.91947	0	0	12200	0	0	28943.4	0
9	P2	0.991384	0	-56746.89773	23253.10227	0	-94174.4062	47286.5938	0
10	P3	1	0	0	32318	0	0	193400	0
11	P4	0.812129	0	0	3900	0	-33549.91374	28350.08626	0
12	P5	0.824874	0	0	16184	0	0	56874	0
13	P6	0.976849	0	0	25132	0	-207798.8443	83726.15568	0
14	P7	1	0	0	9524	0	0	1481	0
15	P8	0.827919	0	-950.368597	1804.631403	0	-5355.507102	16344.4929	0
16	P9	0.721569	0	0	200	0	0	5359	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

### Cuadro 3

#### Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2015 (2)

Slack Movement (PlatAc)	Projection (PlatAc)	Proportionate Movement (ManoT)	Slack Movement (ManoT)	Proportionate Movement (Cmaxref)	Slack Movement (Cmaxref)	Projection (Cmaxref)	Proportionate Movement (Manoc)
-23.596738	18.403262	0	0	0	0	1690	0
0	1	0	0	0	0	1406	0
0	4	0	0	0	0	1112.571	0
-2.88015	55.11985	0	0	0	0	936	0
-154.807444	27.192556	0	0	0	0	1890.633	0
-0.381596	56.618404	0	19619.62706	0	0	345.093	0
0	51	0	0	0	0	1124	0
0	49	0	0	0	0	650.823288	0
-219.287422	91.712578	0	38799.45986	0	0	6054	0
0	711	0	0	0	0	18058	0
-107.810946	36.189054	0	0	0	0	1965.702038	0
0	38	0	0	0	0	2277.8	0
-576.492804	247.507196	0	0	0	0	12437.26027	0
0	30	0	0	0	0	80.3	0
0	9	0	0	0	0	1402	0
0	1	0	0	0	0	1427.5	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

### Cuadro 3

#### Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2015 (3)

Slack Movement (Manoc)	Projection (Manoc)	Proportionate Movement (Prprombr)	Slack Movement (Prprombr)	Projection (Prprombr)	Slack Movement (Rpromref)	Projection (Rpromref)	Proportionate Movement (Expcrud)	Slack Movement (Expcrud)
0	4932	9.480746	0	52.598843	0	2070.224396	772.771244	0
0	1568	0	0	47.4	0	1868.25	0	0
0	15000	0	0	52.41	0	1062.085452	0	0
0	1735	3.166376	0	51.296376	0	865.646	0	0
0	15003.2	11.60408	0	52.71408	0	2221.033415	546.800865	0
-7856.916964	1963.083036	5.438014	0	52.968014	0	417.602191	708.278057	0
0	956.2	0	0	50.94	0	918.64	0	0
0	4823.9	0	0	53	0	718.381564	107.578978	683.247606
0	92544	0.920672	0	52.820672	0	5839.841399	0	0
0	26876	0	0	48.73	0	16109.78846	0	0
0	15425	16.99747	0	52.26747	0	2108.733587	163.249731	0
0	6856	0	0	42.16	0	1983.971724	468.77303	0
0	57149	3.43762	0	51.78762	0	11001	0	0
0	2416	0	0	51.77	0	55.533333	0	0
-703.70545	12596.29455	0.081181	0	52.491181	0	1828.816923	3.189214	0
0	2945	0	0	52.41	0	1297.816263	0	1821.119814

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 3

## Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2015 (4)

Projection (Expcrud)	Proportionate Movement (Exppetr)	Slack Movement (Exppetr)	Proportionate Movement (Ingreso)	Slack Movement (Ingreso)	Projection (Ingreso)	Slack Movement (BrProdEP)	Slack Movement (Prodpetr T)
2019.854577	121.417039	557.31989	42004.5564	0	109790.6996	-1878.203034	272.085207
0.8	0	0	0	0	143421	0	0
5.9	0	0	0	0	272156	0	0
1963.81	0	0	0	0	108730	0	0
2520.978947	88.019326	551.52047	19989.11445	0	92158.11445	-2044.493614	789.913972
1937.578681	0	153.984694	2835.876375	10298.05678	18055.93315	95.824764	-67.289526
2441.463014	0	0	0	0	14690	0	0
1433.033146	101.418609	0	5262.638812	62183.78435	98862.42316	0	-34.814548
4897.333333	0	0	0	0	170726	-7494.3150	0
464.583333	0	0	0	0	129608	0	0
2464.482701	34.329389	490.779119	6994.979074	0	105598.9791	-53.048368	-141.526338
1204.77303	79.296525	1135.15895	61981.221	0	159295.221	0	0
57.166667	0	0	0	0	277621	0	0
1710.921012	0	0	0	0	19570	0	0
597.959299	2.600184	1364.028533	1211.737007	0	227193.737	-679.025163	-58.645998
1821.119814	476.304328	0	50860.63205	24150.94856	118947.5806	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 4

## Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2014 (1)

N O	DM U	Score	Proportion ate Movement (Resvpet)	Slack Movemen t (Resvpet)	Projection (Resvpet)	Proportion ate Movement (ManoEP)	Slack Movemen t (ManoEP)	Projection (ManoEP)	Proportion ate Movement (PlatAc)
1	P1	0.6795 09	0	- 6231.2597 73	3479.7402 27	0	- 26609.199 7	25793.800 3	0
2	P10	1	0	0	80	0	0	16157	0
3	P11	1	0	0	100	0	0	22000	0
4	P12	0.9937 67	0	- 25887.432 77	75612.567 23	0	0	10633.8	0
5	P13	0.7610 58	0	- 294046.06 51	5906.9348 74	0	- 62724.843 62	28518.356 38	0
6	P14	0.7738 71	0	- 16781.526 1	13218.473 9	0	- 13331.611 73	37119.388 28	0
7	P15	1	0	0	97800	0	0	4743.6	0
8	P16	0.8568 86	0	0	12200	0	0	35582.4	0
9	P2	1	0	0	80000	0	0	137900	0
10	P3	1	0	0	36385	0	0	197500	0
11	P4	0.8346 83	0	0	4118	0	- 34019.055 71	30286.944 29	0
12	P5	0.8104 37	0	0	15544	0	0	58618	0
13	P6	0.9900 46	0	0	24649	0	- 216190.39	81823.603 6	0
14	P7	1	0	0	8423	0	0	1525	0
15	P8	0.8583 18	0	0	2982	0	- 937.66640	23462.333	0
16	P9	0.7202 65	0	0	200	0	0	3246	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

### Cuadro 4

#### Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2014 (2)

Slack Movement (PlatAc)	Projection (PlatAc)	Proportionate Movement (ManoT)	Slack Movement (ManoT)	Projection (ManoT)	Proportionate Movement (Cmaxref)	Slack Movement (Cmaxref)	Projection (Cmaxref)	Proportionate Movement (Manoc)
-51.106622	20.893378	0	0	47576	0	0	1690	0
0	1	0	0	50534	0	0	1406	0
0	10	0	0	47000	0	0	1112.571	0
0	45	0	0	5317	0	0	936	0
-192.283433	28.716567	0	0	45621.6	0	0	1890.633	0
-4.124391	52.875609	0	-14725.39423	10500.10577	0	0	345.093	0
0	30	0	0	2371.8	0	0	707	0
0	49	0	0	17791.2	0	0	650.823288	0
0	307	0	0	104961	0	0	6004	0
0	1881	0	0	111700	0	0	17873	0
-290.709397	83.290603	0	0	34722	0	0	1964.34986	0
0	42	0	0	15293	0	0	2235	0
-364.883489	458.116511	0	0	155321	0	0	12337.26027	0
0	37	0	0	508	0	0	80.3	0
-0.540465	19.459535	0	-92.328322	47907.67168	0	0	1402	0
0	1	0	0	18693	0	0	1427.5	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

### Cuadro 4

#### Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2014 (3)

Slack Movement (Manoc)	Projection (Manoc)	Proportionate Movement (Prprombr)	Slack Movement (Rpromr)	Projection (Prprombr)	Proportionate Movement (Rpromref)	Slack Movement (Rpromref)	Projection (Rpromref)	Proportionate Movement (Exprcrud)
0	5053	13.629909	0	99.110725	856.141762	0	2008.971762	625.59939
0	1551	0	0	89.4	0	0	1810.083333	0
0	14000	0	0	99.08	0	0	1003.766327	0
0	1772	1.793561	0	97.113561	0	0	871.811667	0
0	15207.2	12.25279	0	99.13279	799.920171	0	2150.920171	410.17337
6603.72214	1805.27786	2.123326	0	99.173326	82.989721	0	389.845471	730.883648
0	790.6	0	0	96.71	0	0	636.82	0
0	5930.4	0	0	99.19	0	0	682.75	312.122483
0	93890	0	0	98.08	0	0	5915.33	0
0	29793	0	0	93.26	0	0	15823.53846	0
0	17340	27.112068	0	98.882068	223.604633	0	2072.359344	217.294972
0	6997	0	0	87.84	0	0	2106.891941	362.957244
0	59015	2.860179	0	97.690179	0	0	10158	0
0	2542	0	0	98.07	0	0	35.366667	0
0	12100	0.001751	0	99.081751	561.049112	0	1694.049112	0
0	2521	0	0	99.08	0	0	1178.301402	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

**Cuadro 4**
**Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2014 (4)**

Slack Movem ent (Expcru d)	Projecti on (Expcru d)	Proporti onate Moveme nt (Exppet r)	Slack Movem ent (Exppet r)	Projecti on (Exppet r)	Proporti onate Moveme nt (Ingreso)	Slack Movem ent (Ingreso )	Projecti on (Ingreso )	Slack Movem ent (BrProd EP)	Projecti on (BrProd EP)	Slack Movem ent (Prod etrT)
0	1845.43 2723	103.255 098	536.74 419	841.332 622	55290.3 6691	0	163099. 0279	- 2074.29 1538	354.590 462	120.06 0475
0	0.4	0	0	411.302 513	0	0	212018	0	15.337	0
0	12	0	0	2081.17 9344	0	0	431344	0	29.71	0
0	1994.84	0	0	751.06	0	0	136986	0	2866.78	0
0	2375.03 4628	65.2080 99	631.30 2346	1008.87 8037	25446.1 137	0	147341. 1137	- 2094.72 6346	587.906 654	646.61 5192
0	1981.78 3379	0	125.56 33	125.563 3	10412.5 6717	1189.53 3094	29423.1 0027	- 18.4023 64	1326.44 6636	- 94.877 037
0	2496.72 8767	0	0	255.859 521	0	0	20924	0	2794	0
278.218 334	1213.28 1091	291.885 145	0	874.435 337	31034.3 6282	95037.7 7577	188011. 1386	0	1192.83 3	0
0	4488.83 3333	0	0	2610.7	0	0	245606	0	10087.5 18	0
0	351	0	0	3824	0	0	217985	0	8763.71	0
0	2493.46 8103	44.2918 38	488.61 3167	996.863 702	11966.0 6616	0	137311. 0662	- 352.140 197	1047.70 0803	- 159.29 9062
0	880.207 244	107.244 012	992.05 948	1252.13 6825	100804. 9275	0	244461. 9275	0	2254.58 6	0
0	12.1666 67	0	0	692.719 489	0	0	371666	0	4208.34	0
0	1607.89 9526	0	0	30.9597 67	0	0	35594	0	1653.68 8	0
1922.70 7575	1922.70 7575	448.243 507	0	832.957 34	59816.8 5972	33765.5 0574	144921. 3655	0	72	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 5

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2013 (1)**

NO	DMU	Score	Proportio nate Movemen t (Resvpet)	Slack Moveme nt (Resvpet)	Projectio n (Resvpet)	Proportio nate Movemen t (ManoEP)	Slack Moveme nt (ManoEP )	Projectio n (ManoEP )	Proportio nate Movemen t (PlatAc)
1	P1	0.7194 48	0	- 8145.805 359	2933.194 641	0	- 28872.30 255	24531.69 746	0
2	P10	1	0	0	80	0	0	16894	0
3	P11	0.9995	0	0	200	0	-17803	3197	0
4	P12	1	0	0	101500	0	0	11002.8	0
5	P13	0.7525 56	0	- 291652.5 906	6697.409 41	0	- 54979.97 243	29395.62 757	0
6	P14	0.7692 23	0	-16373.2	13626.78 649	0	-12558.4	38088.19 039	0
7	P15	1	0	0	97800	0	0	4500	0
8	P16	0.7239	0	0	12200	0	0	36505.8	0
9	P2	1	0	0	80000	0	0	111700	0
10	P3	1	0	0	33371	0	0	193400	0
11	P4	0.7914 06	0	0	4281	0	- 29691.09	31880.90 913	0
12	P5	0.7255 94	0	- 256.3214 21	14793.67 858	0	- 40171.27 48	22520.72 52	0
13	P6	0.9817	0	0	24376	0	- 231135.9	59887.05 542	0
14	P7	1	0	0	9011	0	0	1033	0
15	P8	0.8812	0	0	2979	0	0	24700	0
16	P9	0.7049	0	0	200	0	0	3197	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

### Cuadro 5

#### Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2013 (2)

Slack Movem ent (PlatAc)	Projecti on (PlatAc)	Proportio nate Moveme nt (ManoT)	Slack Moveme nt (ManoT)	Projectio n (ManoT)	Proportio nate Moveme nt (Cmaxref)	Slack Movem ent (Cmaxref)	Projecti on (Cmaxref)	Proportio nate Moveme nt (Manoc)	Slack Moveme nt (Manoc)
-82.978286	15.021714	0	0	47980	0	0	1690	0	0
0	1	0	0	51474	0	0	1508.413	0	0
-4	1	0	635.638035	47364.36197	0	0	1112.571	0	0
0	31	0	0	5501.4	0	0	936	0	0
-157.176165	28.823835	0	0	42187.8	0	0	1854.997	0	0
-4.633768	54.366232	0	-15267.40927	10055.59073	0	0	345.093	0	-6088.167286
0	30	0	0	2250	0	0	707	0	0
0	49	0	0	18252.9	0	0	650.823288	0	0
0	304	0	0	103420	0	0	5929	0	0
0	1774	0	0	110300	0	0	17818	0	0
-284.78	87.214485	0	0	34562	0	0	1964.35615	0	0
0	54	0	0	15900	0	0	2093	0	0
-365.978	461.021625	0	0	165636	0	0	11787.2	0	0
0	28	0	0	628	0	0	80.3	0	0
0	12	0	-12623.5	35376.4	0	0	1524.38	0	0
0	1	0	0	18478	0	0	1291.5	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 5

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2013 (3)**

Projecti on (Manoc )	Proporti onate Movem ent (Prprom br)	Slack Move ment (Prprom br)	Project ion (Prprom br)	Proporti onate Movem ent (Rpromr ef)	Slack Move ment (Rpromr ef)	Projecti on (Rprom ref)	Proporti onate Movem ent (Expcrud )	Slack Move ment (Expcrud )	Projecti on (Expcrud )
5104	10.2360 49	0	108.67 2386	743.170 775	0	1967.75 8225	583.240 858	0	1853.90 7525
1481	0	0	103.3	0	0	1848.33 3333	0	0	1.4
13000	0	0	108.62	1.17948 4	0	960.904 715	0	0	11
1833.8	0	0	105.04	0	0	863.684 167	0	0	2058.46
14062.6	12.0845 34	0	108.74 4534	663.536 416	0	2057.17 8083	588.713 185	0	2116.73 3185
2352.83 2714	2.13211 3	0	108.83 2113	81.2765 51	0	372.786 551	767.714 242	0	2044.58 6402
750	0	0	105.45	0	0	650.49	0	0	2701.39
6084.3	0	0	108.85	216.197 971	0	734.364 638	540.584 082	0	1284.53 4082
107620	0	0	108	0	0	5590.88 0375	0	0	4689.36 3636
7516	10.4057 42	0	108.59 5742	0	0	2055.34 2856	376.026 664	0	741.609 998
60627	5.60888 5	0	106.02 8885	0	0	9782	0	0	32
3247	0	0	108.47	0	0	36.925	0	0	1669.4
11200	0	0	108.62	487.737 749	0	1694.15 4416	0	0	614.425 919
2539	0	0	108.62	0	0	1161.15 866	0	1671.42 9819	1671.42 9819

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 5

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2013 (4)**

Proportio nate Movem ent (Exppe tr)	Slack Move ment (Exppe tr)	Projecti on (Exppe tr)	Proportio nate Movem ent (Ingreso )	Slack Move ment (Ingreso )	Projecti on (Ingreso )	Slack Move ment (BrProd EP)	Projecti on (BrProd EP)	Slack Move ment (Prodpe trT)	Projecti on (Prodpe trT)
84.1124 51	579.25 6634	846.61 9084	56450.2 7645	0	179434 .6038	- 2231.5 6361	290.63 139	- 27.229 733	1489.9 36933
0	0	405.65 8291	0	0	227969	0	16.003	0	1260.5 83333
0	0	2079.2	0	0	459599	50.353	72	0	1186.4
0	0	805.34	0	0	141573	0	2924.6	0	992.10
274.765 183	0	987.92 5183	51752.9 1378	0	186078 .9138	- 2128.4 03492	661.08 2508	472.63 018	1717.6 8318
0	128.17 4682	128.17 4682	12849.2 2766	0	34220. 22766	15.964 317	1388.7 42317	- 48.285 172	273.96 4828
0	0	280.24 7103	0	0	18604	0	2796.5 34	0	653.33 5466
329.131 743	0	782.08 1743	48742.3 0746	65754. 80786	181576 .1153	0	1202.6 14	48.579 689	554.54 3689
91.5950 68	409.83 5269	1006.5 96902	22092.3 3603	0	143936 .336	- 300.04 977	1081.5 4723	- 173.96 1251	1896.6 22083
154.905 188	412.40 0344	717.90 8563	145503. 0335	0	286965 .0335	0	2023.8 6	0	2178.7 5
0	0	665.84 285	0	0	364913	0	4163.7 73	0	10248. 48248
0	0	32.18	0	0	41720	0	1701.2 03	0	49.392 333
0	0	553.16 4261	0	0	396217	0	796.07 4	0	1410.5
463.385 014	0	832.40 6269	92960.4 7899	0	166990 .479	0	72	0	1238.5

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 6

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2012 (1)**

NO	DMU	Score	Proportio nate Movemen t (Resvpet)	Slack Moveme nt (Resvpet)	Proportio nate Movemen t (ManoEP)	Slack Moveme nt (ManoEP)	Projectio n (ManoEP)	Proportio nate Movemen t (PlatAc)
1	P1	0.7399	0	-9615.60	0	-34343.3	17654.65	0
2	P10	1	0	0	0	0	16414	0
3	P11	0.9994	0	0	0	-16321.1	4678.846	0
4	P12	1	0	0	0	0	10756.2	0
5	P13	0.7629 66	0	-289603.	0	-75620.0	3631.567 168	0
6	P14	0.7836 44	0	- 17555.72 559	0	- 44646.97 687	5962.423 131	0
7	P15	1	0	0	0	0	4692	0
8	P16	0.7788 4	0	0	0	- 25298.52 637	5066.273 628	0
9	P2	1	0	0	0	0	93254	0
10	P3	1	0	0	0	0	187200	0
11	P4	0.7448 28	0	0	0	-39503.2	19383.71 799	0
12	P5	0.7404	0	-1026.00	0	-56324.2	5553.739	0
13	P6	0.9884	0	0	0	-230769.	61685.75	0
14	P7	1	0	0	0	0	1583	0
15	P8	0.8728	0	-1907.87	0	-4513.21	19686.78	0
16	P9	0.6478	0	0	0	0	3898	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 6

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2012 (2)**

Slack Movement (PlatAc)	Projection (PlatAc)	Proportionate Movement (ManoT)	Slack Movement (ManoT)	Projection (ManoT)	Proportionate Movement (Cmaxref)	Slack Movement (Cmaxref)	Projection (Cmaxref)	Proportionate Movement (Manoc)	Slack Movement (Manoc)
-101.8	12.101206	0	0	46236	0	0	1690	0	0
0	1	0	0	51573	0	0	1718.80	0	0
-7.230769	1.769231	0	-836.7	47163.23998	0	0	1112.571	0	0
0	31	0	0	5378.1	0	0	936	0	0
-123.899068	25.100932	0	0	39625.8	0	0	1871.971	0	-3031.00822
-19.002433	40.997567	0	-23242.	2062.681515	0	0	345.093	0	-6824.848043
0	26	0	0	2346	0	0	675	0	0
0	38	0	-5970.1	9212.29268	0	0	591.954795	0	0
0	1784	0	0	112000	0	0	17328	0	0
-330.722302	22.277698	0	0	33671	0	0	2049.757196	0	-1238.7
-311.281242	515.718758	0	0	167209	0	0	11547.26027	0	0
0	27	0	0	577	0	0	80.3	0	0
-10.782619	10.217381	0	-406.4	51393.56083	0	0	1767.168	0	0
0	1	0	0	22789	0	0	1271.5	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 6

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2012 (3)**

Proyección (Manoc)	Proporcionada Movimiento (Prprombr)	Slack Movimiento (Prprombr)	Proyección (Prprombr)	Proporcionada Movimiento (Rpromref)	Slack Movimiento (Rpromref)	Proyección (Rpromref)	Proporcionada Movimiento (Expcrud)	Slack Movimiento (Expcrud)	Proyección (Expcrud)
5076	9.742084	0	111.702699	626.711883	0	1833.258316	585.377625	0	1918.460958
1457	0	0	107.7	0	0	1891.916667	0	0	3.7
13000	0	0	111.62	1.628423	0	1009.876353	0	0	10
1793	0	0	108.93	0	0	905.471667	0	0	2070
10177.59178	11.989358	0	112.049358	641.327406	0	1957.077406	560.172697	0	2284.952697
1610.051957	3.003085	0	112.023085	24.159393	0	309.704893	870.255061	0	2085.496628
782	0	0	109.07	0	0	637.5	0	0	2445.23
5060.8	0.842985	0	112.022985	49.261085	0	548.177752	602.824772	0	1411.374772
7640	7.43026	0	112.03	0	0	1931.99698	478.206215	0	965.872882
62610	3.637403	0	107.287403	0	0	9512	0	0	48.916667
2582	0	0	112.1	0	0	42.734167	0	0	1663.25
10400	0.032463	0	111.652463	584.715488	0	1934.382155	1.909228	0	578.006579
3298	0	0	111.62	0	0	1177.297367	0	1475.132146	1475.132146

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 6

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2012 (4)**

Proportio nate Movem ent (Exppe tr)	Slack Move ment (Exppe tr)	Projecti on (Exppe tr)	Proportio nate Movem ent (Ingreso )	Slack Movem ent (Ingreso )	Projecti on (Ingreso )	Slack Movem ent (BrProd EP)	Projecti on (BrProd EP)	Slack Move ment (Prodpe trT)	Projecti on (Prodpe trT)
62.9398 96	613.28 4847	819.55 8076	55586.4 0676	0	182173 .6033	- 2236.4 98901	311.43 3099	- 79.956 531	1337.6 3446
0	0	426.22 276	0	0	234216	0	16.251	0	1309.8 33333
0	0	2112.6 5311	0	0	481700	63.764 5	85.332 5	0	1221.2 5
0	0	804.22	0	0	144099	0	2977.5 6	0	1057
219.047 342	133.94 3378	1027.4 40721	41445.4 0058	0	169056 .4006	- 1277.4 32065	1526.4 97935	444.31 1984	1676.2 92984
0	162.67 482	162.67 482	14214.9 2108	827.36 686	34892. 28794	791.56 0824	2098.0 98824	56.687 159	356.68 7159
0	0	275.78 3921	0	0	15641	0	2653	0	624.04 5658
334.869 515	0	784.01 9515	56068.5 5646	50841. 65073	182113 .2072	820.01 9345	2019.8 14345	191.52 2374	643.02 2374
0	0	2259.2	0	0	232670	0	9953.3 39	0	6436.1 12512
0	0	569.59 3305	0	0	348394	0	4074.1 64	0	10132. 60606
0	0	29.91	0	0	57489	0	1704.0 01	0	42.868
1.88545 7	473.23 7884	1044.0 47893	1286.10 5207	0	389360 .1052	- 733.29 0209	135.35 4791	- 106.05 7525	1371.2 75809
568.636 348	0	917.35 651	123553. 4413	0	199323 .4413	0	54	0	1246.5

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 7

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2011 (1)**

NO	DMU	Score	Proportional Movement (Resvpet)	Slack Movement (Resvpet)	Projection (Resvpet)	Proportional Movement (ManoEP)	Slack Movement (ManoEP)	Projection (ManoEP)	Proportional Movement (PlatAc)	Slack Movement (PlatAc)
1	P1	0.782969	0	-9642.	1719.218784	0	-24246	27466.62483	0	-97.54
2	P1	1	0	0	100	0	0	16049	0	0
3	P11	0.99985	0	0	300	0	-23478.	3521.153846	0	-2.423
4	P12	0.990705	0	-32830.	68669.12691	0	-2689.8	7608.505949	0	0
5	P13	0.821214	0	-27805	19517.31824	0	-24718.	37793.74983	0	-53.03
6	P14	0.804975	0	-11370.	18629.42374	0	-13022	36958.78066	0	-0.672
7	P15	1	0	0	97800	0	0	4920	0	0
8	P16	0.881852	0	0	12200	0	0	30912.6	0	0
9	P2	1	0	0	77403	0	0	92229	0	0
10	P3	1	0	0	26544	0	0	172100	0	0
11	P4	0.800512	0	0	4081	0	-30710.	23402.46034	0	-408.1
12	P5	0.782838	0	0	12841	0	-27324.	31625.37417	0	-31.77
13	P6	0.971479	0	0	23747	0	-211132	82010.00917	0	-140.5
14	P7	1	0	0	9055	0	0	1610	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 7

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2011 (2)**

Project ion (PlatAc )	Proporti onate Movem ent (ManoT)	Slack Movem ent (ManoT )	Projecti on (ManoT )	Proporti onate Movem ent (Cmaxref)	Slack Move ment (Cmax ref)	Projecti on (Cmax ref)	Proporti onate Movem ent (Manoc)	Slack Movem ent (Manoc )	Projecti on (Manoc )
7.4586	0	-890.55	46018. 44577	0	0	1690	0	0	5024
1	0	0	50358	0	0	1843.8 31	0	0	1441
1.5769 23	0	- 953.88 4395	50046. 11561	0	0	1124.6 07	0	0	12000
32	0	0	5149.2	0	0	936	0	0	1716.4
62.963 713	0	0	31256. 1	0	0	1871.9 57	0	0	10418. 7
59.327 87	0	- 22659. 12122	2331.4 78779	0	0	345.09 3	0	- 6560.9 53004	1769.2 46996
19	0	0	2460	0	0	675	0	0	820
33	0	0	15456. 3	0	0	591.95 4795	0	0	5152.1
300	0	0	36313	0	0	5569	0	0	72318
2003	0	0	111800	0	0	17736	0	0	30154
20.876 533	0	0	32961	0	0	2039.4 42908	0	0	12080
54.224 254	0	0	15453	0	0	2010	0	0	7515
692.42 4582	0	0	169418	0	0	10834. 34247	0	- 43703. 15627	21274. 84373
22	0	0	609	0	0	80.3	0	0	2837
16	0	-10133	40866.	0	0	1766.1	0	0	10200
1	0	0	34471	0	0	1271.5	0	0	2377

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 7

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2011 (3)**

Proportio nate Movem ent (Prprom br)	Slack Move ment (Prpro mbr)	Project ion (Prpro mbr)	Proportio nate Movem ent (Rprom ref)	Slack Move ment (Rpro mref)	Projecti on (Rprom ref)	Proportio nate Movem ent (Expcrud )	Slack Move ment (Expcrud )	Projecti on (Expcrud )	Proportio nate Movem ent (Exppetr )
10.3373 83	0	111.46 7336	543.682 099	0	1711.58 9165	374.512 817	0	1794.01 2817	52.1001 68
0	0	105	0	0	1870.91 6667	0	0	9.3	0
0	0	111.36	0.45644	0	1012.88 5357	0	0	7.6	0
1.94313 4	0	107.57 3134	8.21582 8	0	850.732 495	0	0	1816.11	0
13.9754 73	0	111.91 5473	384.002 62	0	1825.50 262	379.089 692	0	1932.46 9692	191.897 409
5.97727 9	0	111.95 7279	7.41156 3	0	292.680 563	794.778 04	0	2028.05 5778	0
0	0	106.21	0	0	635	0	0	2457.01	0
0	0	112.26	0	0	565.75	338.802 7	0	1181.74 27	197.833 864
33.3927 39	0	111.32 2739	138.702 46	0	1959.20 237	409.087 065	0	2093.15 867	94.6313 85
8.82793 4	0	111.06 7934	1.11432 7	0	1865.61 675	446.414 876	0	1045.41 4876	104.645 636
1.61790 7	0	105.81 7907	0	0	9092	3.66078	0	54.1202 1	44.2460 93
0	0	111.36	307.919 579	0	1743.50 2913	0	0	563.031 159	0
0	0	111.36	0	0	1044.73 3749	0	729.22 3439	729.223 439	328.630 96

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 7

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2011 (4)**

Slack Movement (Exppetr)	Proyección (Exppetr)	Proportio nate Movement (Ingreso)	Slack Movement (Ingreso)	Proyección (Ingreso)	Slack Movement (BrProdEP)	Proyección (BrProdEP)	Slack Movement (ProdpetrT)	Proyección (ProdpetrT)
200.326935	449.900155	29389.22776	0	140781.9675	-2395.050713	157.415287	-1.3669	1410.22885
0	439.458347	0	0	231971	0	17.83	0	1540.833333
0	2033.296402	0	0	484489	67.258115	88.694115	0	1231.166667
0	759.14	0	0	105189	-86.151	2572.538164	0	881.90341
0	978.227409	30631.886	0	156150.886	-751.284559	2129.622441	678.983305	1802.859305
161.136696	161.136696	11529.74182	8329.250371	37749.99219	686.225099	2012.162099	51.793018	351.793018
0	276.50995	0	0	13311	0	2564.17	0	625.804822
129.259184	613.455633	29260.62728	0	149716.6273	-104.00	1156.830142	-90.8470	2005.56961
532.947114	778.006386	108745.6203	0	254660.6203	82.576712	2187.946712	-1.9237	2210.492921
1824.154981	2478.279944	22533.35173	0	333128.3517	0	4052.112	0	9842.688908
0	31.36	0	0	65240	0	1618.047	0	43.573
0	584.307198	0	0	386216	0	1006.047	0	1621.583333
0	594.63096	105767.2799	0	191377.2799	0	52	0	1151.666667

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 8

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2010 (1)**

NO	DMU	Score	Proporcion Movemen t (Resvpet)	Slack Movem ent (Resvpet)	Proyecto n (Resvpet)	Proporcion Movemen t (ManoEP)	Slack Moveme nt (ManoEP)	Proyecto n (ManoEP)	Proporcion Movemen t (PlatAc)
1	P1	0.551 537	0	0	6537	0	-20313.3	19542.68 037	0
2	P10	1	0	0	72	0	0	13023	0
3	P11	1	0	0	140	0	0	18000	0
4	P12	0.992 186	0	-4583.8	96916.13 824	0	-4504.34	5467.053 773	0
5	P13	0.783 458	0	-25795	38548.51 9	0	35364.88 914	24555.31 086	0
6	P14	0.731 291	0	-10834.	19165.05 673	0	-7901.61	30894.38 235	0
7	P15	1	0	0	97800	0	0	5178	0
8	P16	0.799 662	0	0	12200	0	0	33172.2	0
9	P2	0.851 359	0	0	80000	0	-168117.	17602.52 024	0
10	P3	1	0	0	32773	0	0	146000	0
11	P4	0.874 983	0	0	3800	0	-32384.1	23251.86 472	0
12	P5	0.990 049	0	0	12634	0	-3325.44	43653.55 962	0
13	P6	0.878 068	0	0	25627	0	-204042.	73510.02 894	0
14	P7	1	0	0	8384	0	0	1365	0
15	P8	0.818	0	0	2069	0	-7813.01	9886.989	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

**Cuadro 8**

**Resultados de la eficiencia global de la industria petrolera internacional 2010 (2)**

Slack Movement (PlatAc)	Project ion (PlatAc)	Proporti onate Movem ent (ManoT)	Slack Movem ent (ManoT)	Projecti on (ManoT)	Proporti onate Movem ent (Cmaxref)	Slack Move ment (Cmaxref)	Projecti on (Cmaxref)	Proporti onate Movem ent (Manoc)	Slack Movem ent (Manoc)
-1.854083	13.145917	0	0	39913	0	0	1690	0	0
0	1	0	0	47985	0	0	1303.246333	0	0
0	4	0	0	40000	0	0	1112.571	0	0
-10.88642	13.11358	0	0	4986	0	0	936	0	0
-104.385908	20.614092	0	0	29960.1	0	0	1867.859	0	0
-34.895042	23.104958	0	-8611.037821	10786.96218	0	0	345.093	0	-3238.045579
0	13	0	0	2589	0	0	675	0	0
0	24	0	0	16586.1	0	0	591.954795	0	0
-304.742963	27.257037	0	-13617.23828	69361.76172	0	0	5964.75	0	0
-733.332367	208.667633	0	0	143253	0	0	12888.96667	0	0
0	7	0	0	507	0	0	80.3	0	0
-0.366286	4.633714	0	0	42100	0	0	1302	0	0
0	1	0	0	18604	0	0	1427.5	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

## Cuadro 8

**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2010 (3)**

Projecti on (Manoc )	Proporti onate Movem ent (Prprom br)	Slack Move ment (Prpro mbr)	Projec tion (Prpro mbr)	Proporti onate Movem ent (Rpromr ef)	Slack Move ment (Rpro mref)	Projecti on (Rprom ref)	Proporti onate Movem ent (Expcrud )	Slack Movem ent (Expcrud )	Projecti on (Expcrud )
3987	21.2632 63	0	67.989 941	1262.08 5362	0	2029.42 3015	429.358 05	0	1693.91 7075
2433	0	0	50.2	0	0	1852.75	0	0	0.8
17000	0	0	54.17	0	0	1081.40 1171	0	0	6.9
1662	1.80312 9	0	78.123 129	0	0	882.716 667	0	0	1429.57
9986.7	9.95050 6	0	79.650 506	616.375 852	0	2034.08 4185	393.077 708	0	1955.11 4448
3227.95 4421	4.98773 7	0	80.157 737	167.382 22	0	444.119 22	534.702 431	0	1774.91 4695
863	0	0	78.1	0	0	571	0	0	2104
5528.7	0	0	80.34	164.503 526	0	749.503 526	333.427 116	0	1042.26 7116
93661	24.3397 8	0	77.609 78	373.670 361	0	5962.04 2178	0	0	5061.5
51863	21.0962 54	0	71.736 254	0	0	12219.2 5	0	0	97.6666 67
2385	0	0	54.3	0	0	54.8333 33	0	0	1576.74 2401
14200	3.57384 5	0	57.743 845	650.463 682	0	1737.88 0349	0	0	693.050 998
2190	0	0	54.17	0	0	1316.74 7696	0	1415.95 3432	1415.95 3432

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.

**Cuadro 8**
**Resultados de la eficiencia global de la industria  
petrolera internacional 2010 (4)**

Proportio nate Movem ent (Exppe tr)	Slack Move ment (Exppe tr)	Projecti on (Exppe tr)	Proportio nate Movem ent (Ingreso )	Slack Movem ent (Ingreso )	Projecti on (Ingreso )	Slack Movem ent (BrProd EP)	Projecti on (BrProd EP)	Slack Move ment (Prodpe trT)	Projecti on (Prodpe trT)
51.2984 06	630.78 062	833.16 4729	23972.4 6945	0	94576. 95121	- 1288.0 05521	660.42 4479	844.93 2537	1740.0 1587
0	0	434.78 806	0	0	149099	0	15.167	0	1303.1 66667
0	0	2335.1 99095	0	0	311870	0	18.164	0	1282
0	0	772.8	0	0	103101	0	2312.1 2	0	979.39 066
191.325 193	0	951.62 5193	23888.3 4577	0	118817 .3458	-1314.7	1538.8 92237	882.29 064	1971.4 1691
0	107.22 7611	107.22 7611	7606.99 5961	0	25250. 99596	-51.294	1282.1 08915	25.079 102	325.07 9102
0	0	337.22 463	0	0	10211	0	2323.8 29	0	602.67 8027
148.088 247	214.34 9817	677.26 2108	34574.6 4775	0	108077 .6477	- 0.0000 01	1189.8 38999	47.353 039	584.17 5961
0	0	2478.6 1158	0	0	136500	- 7948.6 98395	2400.2 30605	0	6349.3 5746
0	0	1168.7 5	0	0	298352	0	3823.4 52	0	12084. 74573
0	0	17.164 644	0	0	17200	0	1632.2 38	0	54.777 124
0	0	505.53 3063	0	0	244582	-568.59	322.61 4494	0	1324
394.562 873	0	865.22 3304	39065.5 9524	19189. 10686	104854 .7021	0	68	0	1345.4 16667

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados.