



UNIVERSIDAD LA SALLE

FACULTAD DE NEGOCIOS

Estudio del nivel de eficiencia de las refinerías de Pemex
durante el periodo enero 2000 a marzo 2019

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN ACTUARÍA

PRESENTA:

Sebastián Campos Díaz

Asesor:

Martin Flégl, PhD

Ciudad de México,

2020

Ciudad de México a 27 de noviembre de 2020.

MTRA. ANA MARCELA CASTELLANOS GUZMÁN
DIRECTORA DE GESTIÓN ESCOLAR
UNIVERSIDAD LA SALLE
P R E S E N T E

Le informo que el (la) C.

Sebastián Campos Díaz

Egresada(o) de la Facultad de Negocios

de la **UNIVERSIDAD LA SALLE**, de la Licenciatura en:

ACTUARÍA

Con reconocimiento de validez oficial de estudios de la Secretaría de Educación Pública
Según Decreto Presidencial de fecha 29 de mayo de 1987.

Ha elaborado la tesis titulada: **“ESTUDIO DEL NIVEL DE EFICIENCIA DE LAS
REFINERÍAS DE PEMEX DURANTE EL PERIODO ENERO 2000 A MARZO 2019.”**

De conformidad con la modalidad para la obtención de título aprobada para esta
Licenciatura de acuerdo a lo establecido en el Reglamento General de las Universidades
La Salle Integrantes del Sistema Educativo de las Universidades La Salle.

Cumplió con todos los requisitos y el trabajo que fue elaborado bajo mi conducción, tiene
la calidad suficiente para ser la base de sustentación de su Examen Profesional por lo que
se le autoriza presentarlo.



Mtro. José Ramón Barreiro Iglesias
Director Facultad de Negocios

Agradecimientos

Esta tesis esta dedicada a:

Mi madre Mónica Díaz Vite, quien con su cariño y esfuerzo me crio con mucho amor, quien fue mi única compañera y amiga durante toda mi infancia, y quien es la principal razón por la cual soy todo lo que soy. Te amo mamá.

Mi hermana Rebecca Campos Díaz , quien ha sido una luz que ha llenado mi vida de alegría desde el inicio, y quien se ha convertido en la mejor amiga que jamás podría haber deseado.

Mi padre Eduardo Campos Ramírez, por todo el apoyo que me pudo brindar y quien con sus éxitos y fracasos me enseñó el camino que quiero seguir.

Mi tío Valentín Campos Ramírez, quien me brindó todo el apoyo que necesite para triunfar a lo largo de esta carrera, quien me enseñó el valor del trabajo duro y quien me brindó la oportunidad de crecer profesional y personalmente. Sin duda mi ejemplo a seguir.

Mi padrino Luis Díaz Vite, quien siempre ha sido una fuente inagotable de cariño y consejos, mi segundo padre.

Mi tío Rey Díaz Vite, quien ha sido un ejemplo de esfuerzo y humildad, y quien me brindó su apoyo cuando mas lo necesite.

Mi tía Ivonne Díaz Vite, cuyo autógrafo y cariño llevare plasmados en el corazón.

Mi tía Sandra Díaz Vite, quien desde bebe ha corrido conmigo a mi lado sin importar nada.

Mi tía verónica Díaz Vite y mi tío Lorenzo Miranda por todo su apoyo, confianza y cariño.

María Guadalupe Saldaña. Dicen que la vida pone ángeles en tu camino, sin duda alguna ella fue un ángel cuyo apoyo y consejos fueron de vital importancia en esta historia.

Mi familia en general, quienes siempre me brindaron amor y mucho apoyo.

A todos mis profesores, en especial: Mtro. Alejandro González Félix, Dr. Martin Flégl, Dr. Héctor Hugo Corrales Sánchez, Mtro. Víctor Adrián Quiroz Arán y Dr. Luis Antonio Andrade Rosas. Gracias a ustedes pase de ser un joven con sueños a un profesionista con metas y ambiciones.

Tabla de contenido

1	Introducción.....	8
2	Justificación.....	12
3	Objetivos generales e hipótesis	14
4	Marco teórico	16
4.1	Análisis de eficiencia.....	16
4.2	Modelo CCR - Rendimientos constantes en escala	17
4.2.1	Modelo CCR orientado a la entrada	18
4.2.2	Modelo CCR orientado a la salida	19
4.3	Análisis de eficiencia en el área petrolera.....	20
5	Procedimiento metodológico.....	24
5.1	Data Envelopment Analysis – Window Analysis.....	24
5.2	Definición de variables.....	25
6	Resultados	28
6.1	Eficiencia de refinerías de Pemex	28
6.1.1	Reforma energética	31
6.2	Eficiencia de las refinerías	32
6.2.1	Refinería Cadereyta.....	32
6.2.2	Refinería de Madero	33
6.2.3	Refinería de Minatitlán.....	35
6.2.4	Refinería de Salamanca	36
6.2.5	Refinería de Salina Cruz.....	37
6.2.6	Refinería de Tula	38
6.2.7	Resultados de las hipótesis	39
6.3	Eficiencia presidencial	40

7	Discusión.....	43
8	Conclusiones.....	46
9	Referencias	48
10	Anexo	52

Índice de tablas

Tabla 1: Estructura del modelo DEA e importancia de cada variable (fuente: elaboración propia).....	27
Tabla 2: Resultados de la eficiencia de las refinerías (fuente: elaboración propia)	30
Tabla 3: Resultado de hipótesis H1 y H2 por refinería (fuente: elaboración propia)	39
Tabla 4: Clasificación de estrategias (fuente: elaboración propia).....	44
Tabla 5: Clasificación de las refinerías (fuente: elaboración propia).....	45
Tabla 6: Diferencias en eficiencia anual de las refinerías por sexenio de Vicente Fox, donde * nivel de confianza 90%, ** 95% y *** 99% (fuente: elaboración propia)	53
Tabla 7: Diferencias en eficiencia anual de las refinerías por sexenio de Felipe Calderón, donde * nivel de confianza 90%, ** 95% y *** 99% (fuente: elaboración propia)	53
Tabla 8: Diferencias en eficiencia anual de las refinerías por sexenio de Enrique Peña Nieto, donde * nivel de confianza 90%, ** 95% y *** 99% (fuente: elaboración propia)	54

Índice de gráficas

Figura 1: Localización de refinerías en México (Sinembargo.mx, 2018).	26
Figura 2: Eficiencia de refinerías promedio dividido por sexenios (fuente: elaboración propia).....	31
Figura 3: Eficiencia de refinerías promedio relacionado a la reforma energética (fuente: elaboración propia)	32
Figura 4: Eficiencia de la refinería Cadereyta, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia).....	33
Figura 5: Eficiencia de la refinería Madero, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia).....	34
Figura 6: Eficiencia de la refinería Minatitlán, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia).....	35
Figura 7: Eficiencia de la refinería Salamanca, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia).....	36
Figura 8: Eficiencia de la refinería Salina Cruz, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia).....	37
Figura 9: Eficiencia de la refinería Tula, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia).....	38
Figura 10: Eficiencia por meses de cada sexenio (fuente: elaboración propia).....	41
Figura 11: Eficiencia promedio anual de cada sexenio separado por presidentes: a) Vicente Fox, b) Felipe Calderón y c) Enrique Peña Nieto (fuente: elaboración propia)	42
Figura 12: Análisis de eficiencia de las refinerías, enero 2000 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia).....	52

1 Introducción

Es bien sabido que la explotación del petróleo ha sido un factor importante en el crecimiento de la economía mexicana. Durante años la industria petrolera ha sido fundamental para el desarrollo de México, el cual se ha visto beneficiado de los vastos campos petroleros que han sido encontrados en diferentes partes del territorio nacional, sin embargo, no siempre fuimos dueños absolutos de este mineral. En 1763 después de la conquista la Corona española determinó que todo el mineral que fuera descubierto en la Nueva España sería extraído en beneficio de España y de sus propietarios extranjeros, pero esto cambiaría con el Tratado de Córdoba firmado entre Agustín de Iturbide y Juan O'Donjú unos meses antes de consumarse la independencia de México en 1821. Dicho tratado traslada la propiedad de las riquezas al naciente gobierno mexicano sobre el hasta entonces Virreinato de la Nueva España, que incluía los recursos del subsuelo, en específico, el petróleo (Saldaña Zorrilla, 2017). México contó con esta propiedad a lo largo del siglo XIX, hasta que en 1884 el gobierno de Porfirio Díaz promulgó el "*Código de Minas de los Estados Unidos Mexicanos*", el cual trasladaba los derechos del subsuelo a particulares. Posteriormente en 1892 se profundiza la privatización del sector energético del país cuando el gobierno de Díaz promulga el "*Código de Minería de la República Mexicana*", que establece que sólo el dueño del suelo explotará libremente los combustibles minerales –siempre y cuando cubra el impuesto sobre propiedades federales. En 1901 se expide la primera "Ley del Petróleo", que permite otorgar permisos a empresas y particulares para explotar terrenos que son propiedad de la nación (Saldaña Zorrilla, 2017). Dicha ley otorgó amplias facilidades a inversionistas extranjeros. En 1933 surge Petróleos de México, S.A., predecesora de PEMEX, encargada de fomentar la inversión nacional en la industria petrolera, tres años después, en 1936 se funda el Sindicato de Trabajadores Petroleros de la República Mexicana (STPRM), cuya primera acción fue elaborar un proyecto de contrato que sustituyera los distintos contratos colectivos que regían las relaciones laborales en la industria petrolera en cada una de las empresas extranjeras existentes (Pemex, s.f.).

El 18 de marzo de 1938 el presidente de México, General Lázaro Cárdenas del Río, expidió el decreto de la Expropiación Petrolera para lograr la apropiación legal del petróleo que explotaban 17 compañías extranjeras y que tenían el control de la industria, con el fin de que la industria pasara a propiedad de los mexicanos. Una de las principales razones para la expropiación petrolera fueron las precarias condiciones laborales y salariales que tenían los empleados y que las compañías extranjeras se negaron a modificar desde la creación del sindicato “STPRM” (Gobierno de México, 2019c). En este mismo año entró en vigor el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos el cual dicta que “La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público así como el de regular en beneficio social el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública cuidar de su conservación lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.” (Gobierno de México, 2019a). No fue hasta este punto que los hidrocarburos y sus beneficios económicos pertenecieron totalmente a México, por lo que el Gobierno mexicano fundó en junio del 1938 Petróleos Mexicanos (Pemex), que se convirtió en la única empresa que participaría en toda la cadena productiva de hidrocarburos desde la explotación hasta la distribución y comercialización de productos finales derivados del petróleo. Hoy en día podemos decir que Pemex ha sido, por más de 80 años, la compañía más grande e importante de México siendo esta un referente mundial en hidrocarburos y cuyas actividades principales incluyen exploración, producción, transformación industrial, logística y comercialización de hidrocarburos (Granados-Hernández et al., 2013). Dichos logros dependen en gran medida del petróleo que Pemex pueda procesar, debido a esto Pemex cuenta con seis refinerías: Cadereyta, Madero, Minatitlán, Salamanca, Salina Cruz y Tula.

Cada sexenio, los diversos presidentes han buscado generar estrategias para lograr resultados eficientes en las refinerías y así mejorar la eficiencia productiva de Pemex. La industria de la refinación en México está obligada a invertir sumas cuantiosas para aumentar la formulación de productos petrolíferos, cumplir con las especificaciones exigidas por los motores de combustión interna y mejorar la rentabilidad de los centros industriales que los elaboran. Para lograr dichos estándares de calidad las refinerías requieren un mantenimiento periódico para garantizar la calidad del producto final. Sin embargo, durante muchos años se ha asignado

un capital insuficiente, lo que ha contribuido al deficiente desempeño de las actividades de refinación. "Al cierre de 2013, el mercado refinador mostró diversos contrastes. Por un lado, había un suministro adecuado al mercado interno de productos pesados y volúmenes excesivos de petróleo de combustión. Por otro lado, el mercado de gasolina y Diésel no cumplía con las necesidades de consumo interno de la producción de Pemex. La posibilidad de ampliar la infraestructura había sido limitada ya que el proyecto de la refinería en Tula Hidalgo estaba en duda por lo que no se logró lo que estaba planeado; Que era la reconfiguración de las unidades de Tula, Salamanca y Salina Cruz. Esta situación limitó la capacidad de oferta de Pemex en los próximos años y puso la posibilidad de abastecer el mercado interno en manos de las importaciones." (Romo, 2016).

Las disminuciones en la producción nacional de combustibles líquidos para el transporte han aumentado la dependencia de México hacia fuentes extranjeras de productos refinados de petróleo. Por tal motivo el expresidente Enrique Peña Nieto presentó el 12 de agosto de 2013 la iniciativa de la Reforma Energética en México que tiene como objetivo modernizar y fortalecer (sin privatizar) a Pemex, y a la Comisión Federal de Electricidad como Empresas Productivas del Estado 100% mexicanas (Gobierno de México, 2019a). Para lo cual se establece en el Artículo 27 que tratándose de petróleo e hidrocarburos sólidos, líquidos o gaseosos que se encuentren en el subsuelo la propiedad de la Nación es inalienable e imprescriptible. Además, en el Artículo 28 se reafirma que la exploración y extracción de petróleo y gas natural son actividades estratégicas para el país (Gobierno de México, 2019b). Consecuentemente, la Reforma mantiene la prohibición de otorgar concesiones para la explotación de los hidrocarburos de la Nación, pero establece la posibilidad de que la Nación otorgue asignaciones o contratos a Pemex e incorpora también la posibilidad de otorgar contratos a empresas privadas por sí solas en asociación con Pemex (Gobierno de México, 2015).

Con el fin de tener un mejor control del proceso de refinación, la industria ha buscado diversas formas de medir la eficiencia de sus procesos. Petroamazonas, la empresa similar de Pemex en Ecuador, tiene cuatro indicadores para medir la eficiencia: 1) Presupuesto o costo de producción, 2) Producción promedio anual / número de pozos perforados, 3) eficiencia de perforación y producción y 4) Número de barriles diarios procesados (Petroamazonas EP, 2017). Estos índices ayudan a Petroamazonas a determinar la eficiencia de su producción

petrolera, la cual es mostrada en histogramas para una mayor claridad. Lamentablemente, Pemex no cuenta con indicadores tan claros como los que maneja Petroamazonas. Sin embargo, Pemex cuenta con sus propios indicadores de eficiencia que van desde medir la producción total de crudo hasta la productividad por pozo, pero estos solo se muestran en una tabla año tras año (Pemex, 2008). Debido a esto, es importante aplicar metodologías cuantitativas para analizar la eficiencia de Pemex.

En esta tesis se analizará la eficiencia del Sistema Nacional de Refinación en México para el periodo de enero del 2000 a marzo del 2019. En particular analizará el nivel de eficiencia cada refinería y cada sexenio con el fin de comparar dichas eficiencias y determinar si una pudo ser o no perjudicial para el desempeño de Pemex.

2 Justificación

Durante el sexenio de Enrique Peña Nieto, el gobierno enfocó todos sus esfuerzos en realizar diversas reformas para buscar el crecimiento económico y social del país. Una de las reformas más relevantes fue la reforma energética la cual fue presentada por Enrique Peña Nieto el 12 de agosto de 2013 y entró en vigor el 21 de diciembre del 2013 (Gobierno de México, 2015). Esta reforma propuso abrir los mercados de inversión, transporte, explotación de hidrocarburos, extracción de hidrocarburos y ventas de hidrocarburos al sector privado nacional e internacional para hacer que los mercados sean más competitivos logrando una disminución progresiva en el precio de la gasolina para el consumidor.

Debido a esta apertura del mercado de hidrocarburos que se generó por la reforma energética, la gasolina reportó una disminución de precios, lo que generó que Pemex presentara una disminución en sus ingresos totales pasando de generar 944 mil 988 millones de pesos en 2014 a 746 mil 236 millones de pesos al cierre del 2015. Además, en este periodo el dólar se apreció notablemente generando un aumento en el tipo de cambio, lo que junto al incremento de la deuda neta de PEMEX generó que los costos de venta de Pemex se duplicaron pasando de 265 mil 542 millones de pesos en 2014 a 521 mil 606 millones de pesos al cierre del 2015 (es decir; un incremento del 96.4%). Esto ocasionó que Pemex presentara por primera vez números rojos, al igual que Pemex Exploraciones (PEP), obligando a Pemex a recortar más de quince mil plazas de trabajo (El Financiero, 2016).

Con la cuarta transformación, liderada por Andrés Manuel López Obrador, se busca que Pemex abra una refinería más en Dos Bocas, con el fin de que se tenga la suficiente capacidad de refinación de petróleo crudo para alcanzar la autosuficiencia en gasolinas y satisfacer el consumo interno en los próximos años. Esto se debe principalmente a que el país importa de Estados Unidos la gran mayoría de los combustibles que consume. El objetivo principal de esta estrategia es “Incrementar la capacidad y rentabilidad de las actividades de refinación y reforzar la infraestructura para el suministro de petrolíferos en el mercado nacional, a través de la inversión para la rehabilitación de las refinerías existentes y el inicio de la construcción de una nueva refinería” (Expansión, 2018). La nueva refinería en teoría generará 340 mil barriles diarios lo que junto con la rehabilitación de las seis refinerías existentes permitiría producir alrededor de 1 millón 863 mil barriles diarios de crudo de los cuáles se obtendrían

781 mil barriles de gasolina y 561 mil de diésel diariamente. Esta capacidad de la producción eliminaría la dependencia energética en los Estados Unidos (Pemex, 2018).

3 Objetivos generales e hipótesis

México es un país que ha basado gran parte de su poderío económico en la industria del petrolero, y durante mucho tiempo Pemex ha sido la compañía responsable de manejar todo lo relacionado con la extracción del petróleo en tierras mexicanas, además de gestionar todos los procesos de refinación y generación de derivados. Actualmente, México cuenta con seis refinerías: Cadereyta, Madero, Minatitlán, Salamanca, Salina Cruz y Tula que están a cargo del Secretario de Energía (SENER). Las estrategias de la producción manejadas por SENER se cambian cada sexenio dependiendo de la decisión del presidente a cargo. Sexenio a sexenio el presidente de la república junto con su secretario de energía realizan diversas estrategias para lograr el mejor resultado posible en el proceso de refinación, por lo cual en cada sexenio se asigna una estrategia de trabajo diferente.

Con base a lo anterior, el objetivo principal de la tesis es determinar si las estrategias escogidas por los presidentes durante sus sexenios son significativas y pueden llevar las refinerías a un nivel de eficiencia de producción alto usando la metodología de Data Envelopment Analysis. Este objetivo se divide en dos partes: 1) analizar la eficiencia de la producción de Pemex en total, y 2) analizar la eficiencia de la producción por cada refinería. Para verificar lo anterior se construyó la Hipótesis H1 con la siguiente hipótesis nula:

H₁₀: No hay diferencias estadísticamente significativas en el nivel de eficiencia de las refinerías a pesar de las diferentes estrategias escogidas en los sexenios.¹

Además de los sexenios, se analizará si la estrategia de la reforma energética tuvo un impacto significativo en el nivel de eficiencia de las refinerías, esto debido a que esta estrategia en particular implicó un cambio en la ley, lo cual no pasó en las demás estrategias. Por eso, el objetivo específico de la tesis es analizar el impacto de la Reforma energética en la eficiencia de la producción de las refinerías. Este objetivo también se divide en dos partes: 1) analizar el impacto en la eficiencia de la producción de Pemex en total, y 2) analizar el impacto en la

¹ Entiéndase por estrategia la cantidad de recursos económicos y recursos de mano de obra asignados a cada refinería en cada sexenio.

eficiencia de la producción por cada refinería. Para lo anterior, se construyó la Hipótesis H2, con la siguiente hipótesis nula:

H₂₀: No hay diferencia estadísticamente significativa en el nivel de eficiencia de las refinerías antes y después de la reforma energética.

4 Marco teórico

4.1 Análisis de eficiencia

Data Envelopment Analysis (DEA) es un modelo enfocado en evaluar el desempeño de un conjunto de entidades llamadas Unidades de Toma de Decisiones (DMU, por sus siglas en inglés) que convierten múltiples entradas (inputs) en múltiples salidas (outputs). Debido a que en la economía consideramos que las salidas son positivas y deseables, los outputs tienen un carácter de maximización. Además, es necesario consumir entradas para crear las salidas. Los inputs tienen un carácter de minimización en la naturaleza porque su menor consumo conduce a una mayor productividad. Porque hay un número limitado de estos recursos disponibles, el objetivo de los modelos es encontrar el uso correcto de estos recursos para que se cumplan los objetivos de la organización y los sistemas en su conjunto (Flégl, 2014).

En los últimos años se ha visto una gran variedad de aplicaciones del modelo DEA para la evaluación del desempeño de diferentes tipos de entidades en muchos países diferentes. Los modelos DEA han utilizado las DMU de diversas formas para evaluar el desempeño de entidades, como hospitales, alas de la fuerza aérea de los Estados Unidos, universidades, ciudades, tribunales, empresas comerciales, países, regiones, etc. Además, el modelo DEA ha aportado nuevas ideas para evaluar actividades previamente evaluadas con otros modelos, en donde, el modelo DEA mostró numerosas ineficiencias en algunas de las empresas más rentables; empresas que habían servido de referencia en el campo de rentabilidad.

Desde su creación en 1978 por Charnes, Cooper y Rhodes (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978), los investigadores de varios campos han declarado que es una metodología eficiente y fácil de usar para modelar y evaluar el desempeño de procesos operativos. Formalmente, el modelo DEA es una metodología dirigida a las fronteras de eficiencia más que a las tendencias centrales. En lugar de tratar de ajustar un plano de regresión a través del centro de los datos como en la regresión estadística, la metodología DEA descubre relaciones que permanecen ocultas en otras metodologías como en el caso de eficiencia.

Para el modelo DEA, una DMU es 100% eficiente sobre la base de la evidencia, si y solo si, el rendimiento de otra DMU no muestra que alguna de sus entradas o salidas pueden mejorarse sin empeorar sus otras entradas o salidas.

La definición anterior evita la necesidad de especificar la relación entre las entradas y salidas (Cooper, Seiford & Zhu, 2011).

Las bases del modelo DEA surgen en 1957 con la necesidad de Farrell de desarrollar mejores métodos para evaluar la productividad, argumentando que los intentos de resolver problemas mediante otras metodologías eran muy restrictivos por no combinar las mediciones de múltiples entradas en una medida general de eficiencia satisfactorias. Con el fin de resolver esta problemática, Farrell propuso un enfoque de análisis que resolvería el problema de manera más eficiente, dicho modelo fue diseñado para ser aplicable a cualquier organización productiva.

El modelo inicial de DEA presentado en 1978 por Charnes, Cooper y Rhodes (CCR por los signos de los creadores) se basó en el trabajo anterior de Farrell. Este trabajo se originó a principios de 1970 en respuesta a los esfuerzos de tesis de Edwardo Rhodes en la Escuela de Políticas y Gestión Pública H.J. Heinz III. El objetivo de la tesis era evaluar programas educativos para estudiantes desfavorecidos (principalmente negros o hispanos) en escuelas públicas en los Estados Unidos. Para esto, Rhodes utilizó una base de datos la cual era lo suficientemente grande como para utilizar métodos con grados de libertad, sin embargo, obtuvo resultados insatisfactorios e incluso absurdos. Mientras Rhodes intentaba resolver este problema, el artículo de Farrell "La medición de la eficiencia productiva" publicado en el "Journal of the Royal Statistical Society" de 1957 (Farrel, 1957) llamó la atención a Rhodes. Debido a que Farrell utilizó el rendimiento de otras DMU para evaluar el comportamiento de cada DMU en relación con las salidas y las entradas, esto hizo posible proceder empíricamente para determinar sus eficiencias relativas. Basándose en este Charnes, Cooper y Rhodes crearon el modelo CCR (Cooper, Seiford, & Zhu, 2011).

4.2 Modelo CCR - Rendimientos constantes en escala

Asumimos que tenemos n Unidades de Toma de Decisiones (DMUs), Cada unidad de producción consume un número diferente de m entradas diferentes para producir s salidas diferentes. Por lo tanto, DMU_j consume la cantidad x_{ij} de entrada i para producir la cantidad y_{rj} de salida r . Asumiendo $x_{ij} \geq 0$ y $y_{rj} \geq 0$, y, además, que cada DMU tiene al menos una entrada y una salida que tiene un valor distinto de cero. La relación de entradas y salidas se utiliza para evaluar la eficiencia relativa de la unidad de producción $DMU_j = DMU_0$. Cada

DMU se evalúa con respecto al conjunto completo de unidades de producción medidas DMU_j , donde $j = 1, 2, \dots, n$.

4.2.1 Modelo CCR orientado a la entrada

El modelo CCR maximiza el grado de eficiencia de la unidad evaluada q , que se expresa como una parte ponderada de entradas y salidas. Deben cumplirse las condiciones para que la eficiencia de las otras unidades sea menor o igual a una. El modelo CCR calcula los pesos de las entradas y salidas por una forma de optimización para que sea lo más favorable posible para la unidad evaluada en términos de su eficiencia. El modelo CCR orientado a la entrada se caracteriza de la siguiente manera

$$\max q(u, v) = \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}} \quad (1)$$

sujeto a

$$\begin{aligned} \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}} &\leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ u_r &\geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ v_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (2)$$

Donde las variables u_r y v_i y las variables y_{r0} y x_{i0} son los valores observados de los outputs y los inputs respectivamente.

Este problema puede convertirse en un problema de programación lineal estándar utilizando la transformación de Charnes-Cooper (Charnes & Cooper, 1962). El modelo CCR lineal orientado a la entrada se caracteriza como:

$$\max q = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (3)$$

sujeto a

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0,$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \tag{4}$$

$$\mu_r, v_i \geq 0$$

Las condiciones de restricción de los pesos de las entradas y salidas ($\mu_r, v_i \geq 0$) generalmente se ajustan a $\mu_r, v_i \geq \varepsilon$, donde ε expresa una constante infinitesimal (no Archimedean) menor que cualquier número real positivo. Estas condiciones garantizan que todos los pesos de las entradas y salidas tendrán un valor distinto de cero y, por lo tanto, se incluirán en el modelo hasta cierto punto (Cooper, Seiford, & Zhu, 2011). Las DMUs que tienen $q < 1$ son unidades ineficientes, mientras las unidades efectivas son aquellas que se encuentran en el límite efectivo y alcanzan el valor $q = 1$.

4.2.2 Modelo CCR orientado a la salida

De manera similar a la definición de un modelo CCR orientado a la entrada, se puede definir un modelo CCR orientado a la salida. En este caso, la eficiencia de la unidad evaluada q se minimiza, que se expresa como una relación ponderada de entradas a salidas (Cooper, Seiford, & Zhu, 2011)

$$\min q(u, v) = \frac{\sum_i v_i x_{i0}}{\sum_r u_r y_{r0}} \tag{5}$$

sujeto a

$$\frac{\sum_i v_i x_{ij}}{\sum_r u_r y_{rj}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \tag{6}$$

Este problema también se puede convertir en un problema de programación lineal estándar utilizando la transformación de Charnes-Cooper (Charnes & Cooper, 1962). El modelo CCR lineal orientado a la salida se caracteriza

$$\min q = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \quad (7)$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} = 1 \quad (8)$$

$$\mu_r, v_i \geq \varepsilon$$

La interpretación de los modelos CCR orientados a la salida es similar como en los modelos CCR orientados a la entrada.

4.3 Análisis de eficiencia en el área petrolera

Como se presentó en la introducción, la industria petrolera utiliza diferentes parámetros para medir la eficiencia en cada refinería. Dichos parámetros miden desde la refinación hasta las ventas finales. Porque hay muchos parámetros en la refinación del petróleo, y cada estudio tiene un objetivo distinto, en general, no hay un modelo universal para medir la eficiencia de la producción de una refinería. Además, los modelos utilizan diferentes periodos en el análisis. Los siguientes ejemplos muestran las principales estructuras del análisis de eficiencia basados en la metodología de DEA.

En Irán, Nemati, Kazemi Matin y Toloo (2020) analizaron la eficiencia de la producción en nueve refinerías en donde utilizaron el modelo DEA en dos etapas, con diferentes paquetes de inputs y outputs en cada una de ellas. En la primera etapa se estudió la producción de petróleo crudo y el gas (definiendo estos como los outputs del modelo), los cuales requieren diferentes recursos y líneas de producción (definiendo estos como los inputs del modelo). Posteriormente se tomaron los outputs de la primera etapa y se usaron como inputs en la etapa dos, para analizar la eficiencia de las ventas de estos productos. Tomando como outputs del modelo, de la segunda etapa, los niveles de ventas. Con los resultados, los autores determinaron la eficiencia de las refinerías en Irán y el desempeño de las ventas, es decir, analizaron dos etapas de la cadena de producción del petróleo.

Similar, Al-Najjar y Al-Jaybajy (2012) aplicaron DEA para analizar la eficiencia de 12 refinerías en Iraq por un periodo de dos años durante 2009 y 2010. El modelo DEA incluyó cuatro inputs: Petróleo crudo (m^3), Trabajadores (unidad), Electricidad (Kw/h) y terreno (hectáreas); y cuatro outputs: la producción de Nafta (m^3), Gasolina (m^3), Keroseno (m^3) y Diésel (m^3). Los autores analizaron la eficiencia separado año por año porque el tamaño de la muestra no permitió aplicar modelos que analizan la eficiencia por series de tiempo. Los resultados muestran que el 50% de las refinerías fueron eficientes en el 2009, mientras que en 2010 el 58% de las refinerías fueron eficientes. Además, el análisis mostró que la eficiencia global de las refinerías fue de 82% y 87% respectivamente. Con este estudio los autores concluyeron que el modelo DEA es una herramienta muy efectiva y poderosa para monitorear y controlar el nivel de eficiencia de las refinerías.

El análisis de Barros y Assaf (2009) que se aplicó en Angola es diferente porque su modelo evalúa la eficiencia de los bloques de petróleo, los cuales son parcelas que se ocupan para la exploración de petróleo comprendidas por varios campos petroleros. Los autores aplicaron el modelo DEA de dos etapas (double bootstrap model, es decir, una combinación de DEA con análisis econométrico). La estructura del modelo DEA tomo en cuenta tres Inputs: Costo operativo en millones de dólares, primas de inversión, e impuestos; mientras el modelo utilizó solo un output: Producción de petróleo en millones de barriles; evaluando la eficiencia de nueve bloques de petróleo. El análisis reveló que los bloques de petróleo situados en agua profunda y ultra profunda son las más eficientes, reportando niveles de eficiencia altas y estables. Mientras los bloques de petróleo poco profundos y en tierra disminuyen su producción por su agotamiento.

Cavalheiro Francisco, Rodrigues de Almeida y Ribeiro da Silva (2012) aplicaron Data Envelopment Analysis para analizar eficiencia ambiental de diez refinerías en Brasil. La estructura del modelo incluyó dos inputs: Porcentaje de inactividad de la planta operativa y la cantidad de agua consumida; y los siguientes como outputs: Volumen de producción de la refinería y efluentes generados (deseables e indeseables), y un output no controlable como lo es la edad de las refinerías. El modelo presentado en este estudio es diferente a modelos

anteriores porque se incorporó una variable no deseable dentro de la estructura². Los resultados demuestran ser muy sensibles cuando se comparan las eficiencias técnicas y eficiencias ambientales. Además, los autores sugieren que los resultados obtenidos sin la consideración de las variables no deseables pueden ser engañosos.

Mekaroonreung y Johnson (2010) presentaron un estudio similar al de Angola, evaluando eficiencia de refinerías en Estados Unidos por el periodo de 2006 y 2007. Sin embargo, su estudio es más amplio porque analiza la eficiencia de 113 refinerías. Además, igual que en Brasil, los autores utilizaron outputs no deseables. En este modelo DEA se utilizaron tres inputs (capital, la energía y el petróleo crudo), dos outputs deseables (gasolina y destilados) y un output no deseable (liberación tóxica). Después de diversas corridas con diferentes outputs se concluyó que aproximadamente el 60% de las refinerías podrían mejorar su nivel de eficiencia al aumentar la cantidad de gasolina y destilado. Además, el análisis demuestra que algunas refinerías (principalmente las que muestran una eficiencia baja) se ven afectadas en su nivel de eficiencia debido a las estrictas medidas ambientales.

En un estudio más reciente, Vikas y Bansal (2019) analizaron 22 compañías de gas y petróleo en la India durante el periodo de 2013 a 2017. Para este análisis se utilizó un modelo DEA con cuatro inputs: El total de gastos operativos de compra, El número total de empleados profesionales involucrados en la compra, El número total de empleados administrativos de compras y El número total de proveedores activos; y dos outputs: El monto total de compra en dólares por parte del departamento de compras y el porcentaje del total de dólares de compra de la compañía manejados por el departamento de compras. Los resultados obtenidos indican que el 59%, es decir, 13 de 22 empresas, son técnicamente eficientes. Por eso, hay un espacio grande para mejorar la producción de las empresas en la India. Los autores sugieren que el método DEA puede ayudar a identificar las áreas donde los recursos necesitan una asignación más cuidadosa.

Como pudimos observar los factores analizados para determinar el nivel de eficiencias en la industria petrolera tienden a ser diferentes, ocupando de manera mas usual inputs como (Pozos perforados, Barriles producidos y presupuesto) y outputs como (derivados de petróleo

² La definición y el manejo de variables no deseables se puede revisar, por ejemplo, en Dyson et al. (2000).

y utilidades generadas). Sin embargo, en todos los casos, los modelos DEA muestran factibilidad para analizar el nivel de eficiencia de las refinerías.

5 Procedimiento metodológico

5.1 Data Envelopment Analysis – Window Analysis

Data Envelopment Analysis (DEA) se trata de un método no paramétrico para la estimación de fronteras de producción y evaluación de la eficiencia de una muestra de *unidades de toma de decisión* (DMUs o Decision-making Units, en terminología habitual). En este tipo de análisis se calcula la eficiencia relativa para cada DMU comparando sus inputs y outputs respecto a todas las demás DMUs (Cooper, Seiford & Zhu, 2011). Cada DMU puede tener varias cantidades de m inputs diferentes para producir s outputs diferentes. Si el modelo supone eficiencias constantes a escala, se puede utilizar el denominado modelo CCR (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978). El modelo CCR orientado a outputs para DMU₀ se formula de la siguiente manera:

$$\min q = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \quad (9)$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$
$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} = 1 \quad (10)$$

$$\mu_r, v_i \geq 0 \text{ y } \varepsilon > 0$$

donde x_{ij} es la cantidad del input i del DMU _{j} , y_{rj} es la cantidad del output r de DMU _{j} , v_i y μ_r son los pesos de los inputs y outputs $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$, $r = 1, 2, \dots, s$, $i = 1, 2, \dots, m$ y ε es el llamado elemento no archimédiano. DMU es 100% eficiente si $q = 1$, es decir, no hay otra DMU que produzca más outputs con la misma combinación de inputs. Por otro lado, DMU es ineficiente si $q < 1$.

Para medir la productividad de las DMUs durante un período más largo, como en nuestro caso, se puede utilizar el enfoque de Window Análisis (análisis de ventanas). Este enfoque funciona según el principio de promedios móviles para detectar tendencias de eficiencia de

las DMUs a lo largo del tiempo (Cooper, Seiford & Tone, 2007). En este caso, cada DMU en un año diferente se trata como si fuera una unidad diferente. La eficiencia de una DMU en un periodo en particular se compara con su eficiencia en otros periodos además de la eficiencia de otras DMUs. Por lo tanto, hay nk DMU en cada ventana, donde n es el número de DMUs en un periodo determinado (debe ser el mismo en todos los periodos) y k es el ancho de cada ventana (igual para todas las ventanas). Esta característica aumenta la capacidad discriminatoria del modelo DEA, ya que el número total de periodos T se divide en series de periodos superpuestos (ventanas), cada uno con un ancho k ($k < T$) que conduce a nk DMUs. La primera ventana tiene nk DMUs para los periodos $\{1, \dots, k\}$, el segundo periodo tiene nk DMUs y periodos $\{2, \dots, k + 1\}$ y así sucesivamente, hasta que la última ventana tenga nk DMUs y periodos $\{T - k + 1, \dots, T\}$. En total, hay $T - k + 1$ análisis separados donde cada análisis examina nk DMUs.

Un factor importante es la determinación del tamaño de la ventana. Si la ventana es demasiado estrecha, puede que no haya suficientes DMUs en el análisis que conduzcan a un bajo poder de discriminación del modelo. Por el contrario, una ventana demasiado amplia puede dar resultados engañosos debido a cambios significativos que ocurren durante los periodos cubiertos por cada ventana (Cooper, Seiford & Zhu, 2011). Por lo tanto, el tamaño de la ventana debe considerar la estructura del modelo DEA (principalmente con respecto al número de DMUs (Dyson et al., 2001) y las características del área analizada. En nuestro caso, seleccionamos $k = 12$ (ventana de 12 meses) ya que las modificaciones del presupuesto para las refinerías se realizan cada año con.

5.2 Definición de variables

El objetivo de la tesis es analizar la eficiencia de la producción de las refinerías en México: Cadereyta en Nuevo León, Madero en Tamaulipas, Minatitlán en Veracruz, Salamanca en Guanajuato, Salina Cruz en Oaxaca y Tula en Hidalgo. La Figura 1 muestra la ubicación de las refinerías.



Figura 1: Localización de refinerías en México (Sinembargo.mx, 2018).

Para evaluar el nivel de eficiencia de estas refinerías con respecto a su nivel de producción, se usaron registros de la Base de datos institucional de Pemex (Pemex, 2019), y se construyó un modelo de input y outputs, seleccionando los siguientes inputs: Capacidad de refinación (CR) que se mide en miles de barriles diarios; Terreno de la refinería (T) en hectáreas; Plazas de trabajo totales (PTT) en unidades; Presupuesto de refinería (PRES) en miles de millones de pesos; Pozos perforados por exploración (PPE) medido en unidades; y Equipo de perforación para la exploración (EPE) en unidades. Para los outputs del modelo se seleccionaron dos variables: Procesamiento de petróleo crudo ligero (PCL) y Producción de petróleo crudo pesado (PCP), ambos en miles de barriles diarios, esto para no descartar la producción de ningún derivado del petróleo. Sin embargo, después de correr el modelo por primera vez, la importancia de los inputs PPE y EPE era de solamente 1.97% y 6.11% respectivamente, lo que significó que estas variables no eran significativas para el análisis, por lo cual se eliminó el input PPE del modelo para mejorar la importancia de EPE y otros inputs. Además, se ajustó el nivel de ϵ a $\epsilon = .3$ para subir la inclusión de cada variable en el modelo. En la segunda corrida del modelo, la importancia del input EPE subió a 6.23% lo que no representó un nivel de importancia satisfactorio. Lo cual nos llevó a eliminar esta variable del modelo. El modelo final contiene 4 inputs: Capacidad de refinación con una importancia del 31.21%; Terreno con (25.75%); Plazas de trabajo totales con (29.01%); y Presupuesto con (14.03%).

Los outputs del modelo, Procesamiento de petróleo crudo ligero (PCL) y Producción de petróleo crudo pesado (PCP), en ambas corridas del modelo la importancia de cada output fue satisfactorio: PCL con una importancia del 54.06% y PCP con 45.94%. Es decir, los outputs contribuyen de manera significativa la estructura final del modelo que se muestra en la Tabla 1. La selección de los variables (inputs y outputs) corresponde a la estructura común de los modelos DEA en el área de análisis de eficiencia de la refinación de petróleo presentada en los trabajos de Cavalheiro Francisco, Rodrigues de Almeida & Ribeiro da Silva (2012), Al-Najjar & Al-Jaybajy (2012), Mekaroonreung & Johnson (2010). Sin embargo, el análisis presentado en esta tesis es distinto porque refleja la eficiencia de las refinerías para un periodo largo y no solamente para un corte o cortes de un año (Barros & Assaf, 2009; Vikas & Bansal, 2019). Estos cortes no son correctos porque la refinación es un proceso continuo y por eso el modelo de Window Analysis refleja mejor este proceso.

Inputs	Outputs
Input 1: Capacidad de refinación (CR) - 31.21%	Output 1: Petróleo crudo ligero (PCL) - 45.94%
Input 2: Terreno disponible (T) - 25.75%	Output 2: Petróleo crudo pesado (PCP) - 54.06%
Input 3: Plazas de trabajo totales (PTT) - 29.01%	
Input 4: Presupuesto asignado del gobierno (PRES) - 14.03%	

Tabla 1: Estructura del modelo DEA e importancia de cada variable (fuente: elaboración propia)

Los datos se obtuvieron mensualmente para cada una de las refinerías por el periodo de enero 2010 a marzo 2019, resultando en 231 periodos analizados. Considerando el funcionamiento del Window Analysis, el análisis contiene 1,386 DMUs asegurando una habilidad discriminatoria suficiente en el modelo (Dyson et al., 2001). Por lo último, se utilizó el modelo CCR orientado a los outputs, con el propósito de evaluar la eficiencia del proceso.

6 Resultados

En esta parte se presentan los resultados sobre la eficiencia de las refinerías en México durante el periodo de enero 2000 hasta marzo 2019 (231 meses). Primero, se presentan los resultados generales y después los resultados de cada una de las refinerías (Cadereyta, Madero, Minatitlán, Salamanca, Salina Cruz y Tula). Además, la eficiencia se relacionará con los periodos sexenales de los últimos cinco presidentes en México. El sexenio (72 meses) de Vicente Fox (diciembre 2000 – noviembre 2006), el sexenio de Felipe Calderón (diciembre 2006 – noviembre 2012) y el sexenio de Enrique Peña Nieto (diciembre 2012 – noviembre 2018) están cubiertos totalmente en el análisis. Por otro lado, el sexenio de Ernesto Zedillo (diciembre 1994 – noviembre 2000) está incluido solamente por 11 meses y el sexenio del presidente actual Andrés Manuel López Obrador (diciembre 2018 hasta ahora) está incluido por 4 meses, por eso no se pueden hacer comparaciones correctas con los sexenios completos. Sin embargo, estos sexenios incompletos nos ayudan a dar una tendencia de la eficiencia. El periodo analizado se divide considerando los sexenios: periodo A) Por Ernesto Zedillo, periodo B) Por Vicente Fox, periodo C) Por Felipe Calderón, periodo D) Por Enrique Peña Nieto y periodo E) Por Andrés Manuel López Obrador.

6.1 Eficiencia de refinerías de Pemex

La eficiencia de las refinerías durante todo el periodo está presentada en la Tabla 2. Durante todo el periodo, la eficiencia promedio de todas las refinerías fue 82.31% (con una desviación estándar de 7.47%) indicando espacio para mejoras. Además, los resultados muestran volatilidad significativa en la eficiencia durante todo el periodo lo que impide identificar una tendencia estable para cada refinería (Figura 11). Por lo tanto, y por el tamaño del periodo analizado, es importante investigar la eficiencia con más detalle. La (Figura 2) muestra división de la eficiencia promedio por los sexenios. Durante el periodo A - Ernesto Zedillo, la eficiencia promedio de las refinerías fue de 74.43% con una volatilidad mínima (desviación estándar 3.43%). La tendencia de la eficiencia era ligeramente negativa (-.0001 en promedio por mes) y la eficiencia se mantuvo por debajo del promedio durante todo el

periodo (82.31%)³. Durante el periodo B - Vicente Fox; empezó con un crecimiento en el nivel de eficiencia con una tendencia positiva .00007 por mes. Este crecimiento resultó en una eficiencia promedio de las refinerías de 84.27% con un pico de la eficiencia 93.79% en enero de 2006. Sin embargo, la volatilidad creció también (6.08%). Durante el periodo C - Felipe Calderón; la eficiencia promedio de las refinerías fue el más alto (86.16%) con un bajo nivel de volatilidad (4.30%). Sin embargo, durante todo el sexenio la tendencia fue ligeramente negativa -.00003. Para el periodo D - Enrique Peña Nieto, la tendencia negativa llegó hasta -.00008, que resultó en una disminución del nivel de eficiencia con respecto al sexenio anterior (78.45%). Además, durante este periodo aumentó la volatilidad a 8.24%. La volatilidad durante este periodo fue la más grande de todo el periodo analizado, esto se puede ver especialmente al final de este periodo (Figura 2). El último periodo E - Andrés Manuel López Obrador se presenta con la eficiencia más baja de todas (68.81%), con volatilidad de 6.69%, pero con una tendencia positiva .0013. Sin embargo, estos resultados no son representativos porque solamente se cuenta con información de 4 meses de este sexenio, es decir solo el 5.5% del sexenio están incluido en el presente análisis, además, habría que recordar que el presidente Andrés Manuel López Obrador ordenó el cierre parcial de las refinerías y sus procesos debido al huachicoleo.

Para ver, si las diferencias en los niveles de eficiencia son estadísticamente significativas, se aplicó la prueba de Games-Howell⁴. El método muestra que el periodo de Vicente Fox tuvo la eficiencia, estadísticamente hablando, más alta ($p = .000$, +9.84%) contra el periodo de Ernesto Zedillo, contra Enrique Peña Nieto ($p = .000$, +5.81%), y contra el periodo de Andrés Manuel López Obrador ($p = .066$, +15.45%). Similarmente, el periodo de Felipe Calderón presentó, estadísticamente hablando, una eficiencia más alta que Ernesto Zedillo ($p = .000$, +11.72%), que Enrique Peña Nieto ($p = .000$, +7.70%) y que Andrés Manuel

³ Es necesario recordar que en el periodo A contempla únicamente 11 meses, representando 15% del sexenio.

⁴ Games-Howell test es una prueba no-paramétrica que no asume varianzas iguales y el mismo tamaño de muestra. En nuestro caso, 2 de 5 sexenios tienen diferente tamaño y las varianzas son diferentes (prueba de Welch $p = .000$). Todas las pruebas estadísticas presentadas en esta tesis están basadas en esta prueba.

López Obrador ($p = .050$, +17.34%). Aunque el periodo de Enrique Peña Nieto fue el más volátil, la eficiencia durante este periodo fue, estadísticamente hablando, más alta comparada contra el periodo de Ernesto Zedillo ($p = .057$, +4.02%). Por último, no hay diferencia estadísticamente significativa entre periodo B y el periodo C ($p = .207$, -1.88%). Considerando la mayoría de los resultados se podría rechazar la hipótesis H1, debido a que existen diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de las refinerías durante los cinco sexenios, pero con el fin de obtener un resultado más preciso analizaremos esta hipótesis para cada refinería.

Refinería	Eficiencia / desviación estándar	A	B	C	D	E
Cadereyta	80.16% (16.00%)	38.99% (10.92%)	81.62% (13.29%)	88.87% (12.17%)	76.54% (11.30%)	75.23% (8.41%)
Madero	70.11% (18.64%)	57.77% (6.90%)	69.88% (18.97%)	79.90% (17.66%)	61.65% (15.21%)	55.81% (0.10%)
Minatitlán	91.50% (12.98%)	93.29% (8.27%)	95.32% (6.94%)	93.06% (6.52%)	85.80% (19.88%)	89.06% (12.50%)
Salamanca	75.34% (9.32%)	74.17% (3.94%)	74.74% (5.86%)	73.77% (6.88%)	79.55% (9.23%)	42.09% (26.19%)
Salina Cruz	88.95% (13.14%)	94.17% (11.85%)	92.29% (10.29%)	88.44% (10.58%)	85.78% (17.10%)	79.12% (5.23%)
Tula	88.19% (13.04%)	88.18% (9.16%)	91.79% (9.57%)	92.91% (8.07%)	80.93% (16.43%)	68.97% (6.67%)
Promedio	82.31% (7.48%)	74.43% (3.27%)	84.27% (6.04%)	86.16% (4.28%)	78.45% (8.19%)	68.82% (5.79%)

Tabla 2: Resultados de la eficiencia de las refinerías (fuente: elaboración propia)

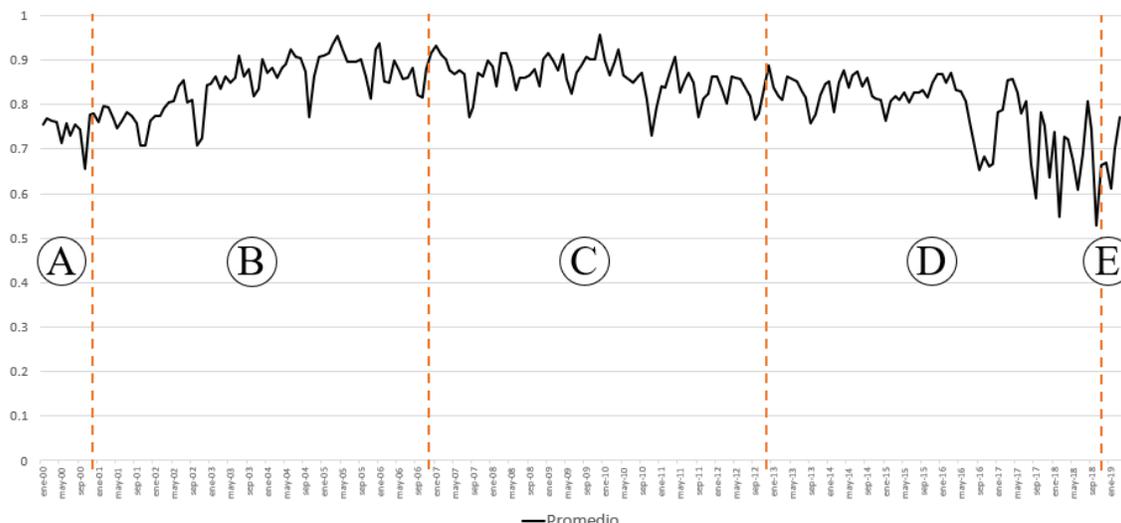


Figura 2: Eficiencia de refin rias promedio dividido por sexenios (fuente: elaboración propia)

6.1.1 Reforma energética

Figura 3 muestra el análisis de la Reforma energética. Periodo I refiere a los sexenios anteriores y posterior del sexenio de Enrique Peña Nieto. Periodo II refiere al sexenio de Enrique Peña Nieto antes la Reforma energética, mientras periodo III refiere al periodo con la Reforma Energética, (estos mismos periodos serán utilizados más adelante). Durante el periodo I, la eficiencia de las refin rias fue de 84.05% con volatilidad promedio de 6.39%. Durante el periodo II, la eficiencia bajó 1.28% llegando a una eficiencia promedio de 82.76% con una volatilidad de 3.61%. Sin embargo, esta diferencia no es estadísticamente significativa ($p = .520$). En el periodo III, la eficiencia bajó significativamente a comparación del periodo II (-5.17% , $p = .004$), al igual que con el periodo I (-6.46% , $p = .000$). Estos resultados nos llevarían a rechazar la hipótesis H2 de manera global, sin embargo, no se garantiza que para todas las refin rias esto sea cierto, por lo cual se analizará esta hipótesis para cada una de las refin rias.

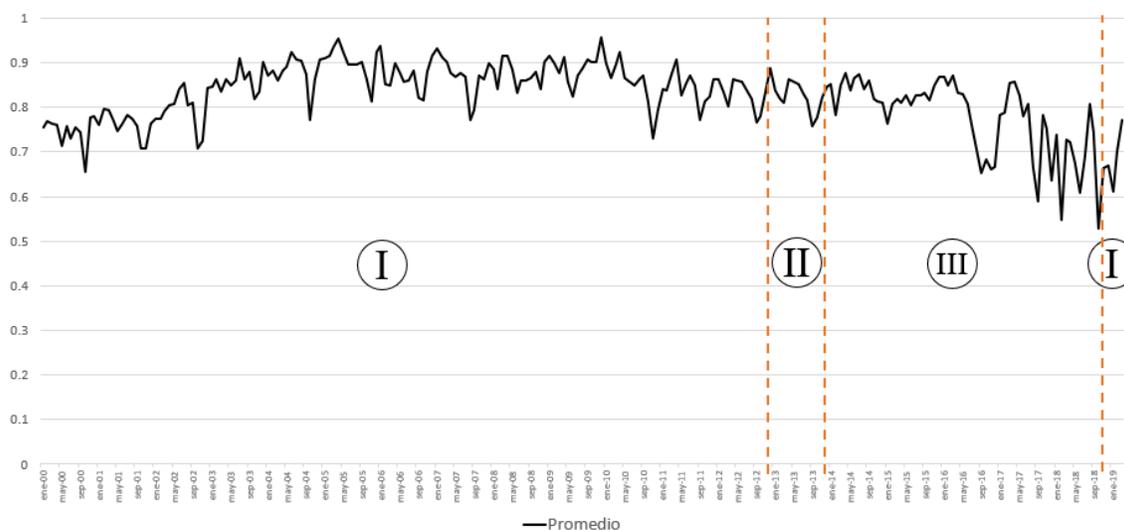


Figura 3: Eficiencia de refin er as promedio relacionado a la reforma energética (fuente: elaboración propia)

6.2 Eficiencia de las refin er as

6.2.1 Refinería Cadereyta

Eficiencia de la refin er a Cadereyta se puede ver en la Tabla 2 y en la Figura 4. La eficiencia promedio de esta refin er a durante todo el periodo analizado es de 80.16% el tercero más bajo de las refin er as y por bajo del promedio total (82.31%). Además, la volatilidad de esta refin er a es de 16.00% siendo el segundo más volátil. Su eficiencia empieza muy baja (30.01%) creciendo significativamente durante el sexenio de Ernesto Zedillo. Sin embargo, la eficiencia promedio durante este periodo era 38.99% con volatilidad de 10.92%, que fue -36.24% más baja ($p = .002$) que la segunda eficiencia más baja del sexenio de Andrés Manuel López Obrador (periodo E). Durante el sexenio de Vicente Fox, la eficiencia subió a un promedio de 81.62% pero, por otro lado, la volatilidad llegó a 13.29%. La eficiencia más alta se puede observar durante el sexenio de Felipe Calderón donde el promedio fue de 88.87% con una volatilidad de 12.17%. La diferencia de +7.24% contra el periodo anterior es significativa ($p = .007$). La eficiencia bajó 12.32% durante el sexenio de Enrique Peña Nieto, resultando en un promedio de 76.54% con una volatilidad del 11.30%. El último sexenio registró una eficiencia de 75.21% y una volatilidad de 8.41%, siendo la más baja. La diferencia de -1.31% contra el sexenio anterior no es estadísticamente significativo ($p = .997$). Considerando la mayoría de los resultados, nuevamente, se puede rechazar la hipótesis

H1, por lo cual en Cadereyta al igual que en el caso global las estrategias elegidas por cada presidente afectaron el nivel de eficiencia.

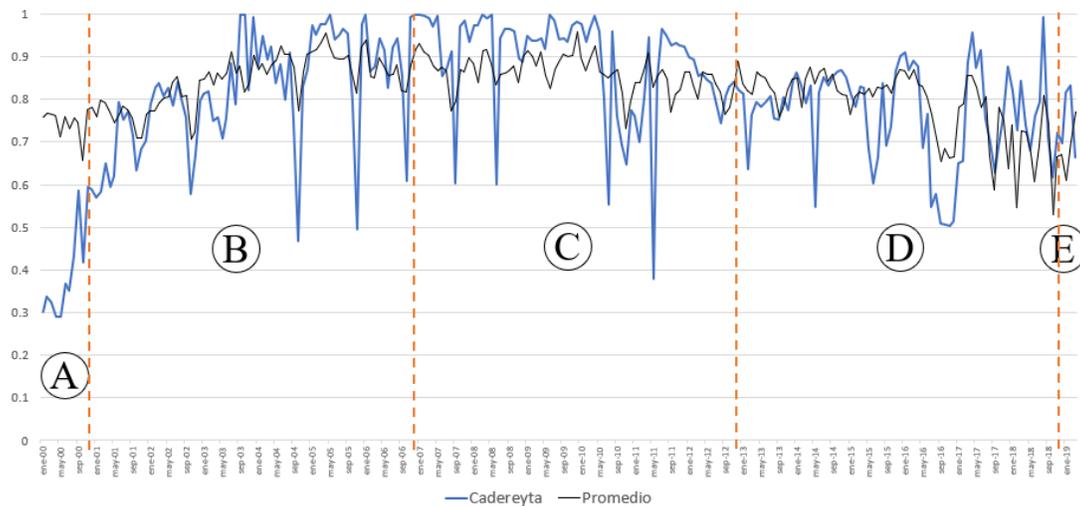


Figura 4: Eficiencia de la refinería Cadereyta, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia)

La Reforma energética en el caso de la refinería Cadereyta tuvo un impacto negativo, que resultó en eficiencia más baja. Comparando el periodo III contra el periodo II observamos que la diferencia no es significativa (-1.12%, sin significancia $p = .856$), sin embargo, al comparar el periodo III con el periodo I podemos observar que existe una diferencia estadísticamente significativa en la eficiencia de Cadereyta (-5.43%, $p = .028$). Además, la Reforma aumentó la volatilidad de 4.92% a 12.20%. Estos valores nos indican que en general el periodo de Enrique Peña Nieto fue particularmente malo para la refinería de Cadereyta. Debido a lo anterior no podemos rechazar la hipótesis H2.

6.2.2 Refinería de Madero

La eficiencia promedio de la refinería Madero fue de 70.11%, el cual fue el más bajo de las seis refinерías (Tabla 2). Además, la volatilidad de esta refinерía fue la más alta 18.64%. Se puede ver en la Figura 5 que no se puede observar una tendencia estable, durante todo el periodo, ya que existió mucha volatilidad. Durante el primer periodo de Ernesto Zedillo, la eficiencia promedio era solamente 57.77% y una volatilidad de 6.91%, que es significativamente menor a comparación con el periodo de Vicente Fox (-12.10%, $p = .003$) y con Felipe Calderón (-22.12%, $p = .000$). Aunque durante el periodo de Felipe Calderón

la eficiencia fue la más alta 79.90%, no cruzó el nivel de la eficiencia promedio de todas las refinerías (Tabla 2). Se puede ver en la Figura 5 que la eficiencia en mayoría de los meses mantuvo un nivel por debajo del promedio global. Considerando los resultados, podemos rechazar la hipótesis H1 para el caso particular de Madero.

Durante La Reforma energética se puede observar que en todo el periodo II la eficiencia fue de 63.20%, 10.23% menor que en el Periodo I, ($p = .002$). Si analizamos la diferencia entre el periodo II y el periodo III podemos notar una disminución en el nivel de eficiencia de 1.93%, lo que no es significativo, sin embargo, si analizamos el periodo III contra el periodo I podemos notar que la eficiencia promedio disminuyó 12.65%, lo cual es significativo $p = .000$. También se puede observar que la refinería tuvo cero producciones durante 10 meses en los últimos 15 meses al final del sexenio del Enrique Peña Nieto (por eso la tendencia no es continúa). Con base a los resultados no podemos rechazar la hipótesis H2, debido que la reforma energética no fue la causante del mal desempeño de esta, lo que si podemos concluir es que el sexenio de Enrique Peña Nieto afectó la eficiencia promedio de la refinería a comparación de otros sexenios.

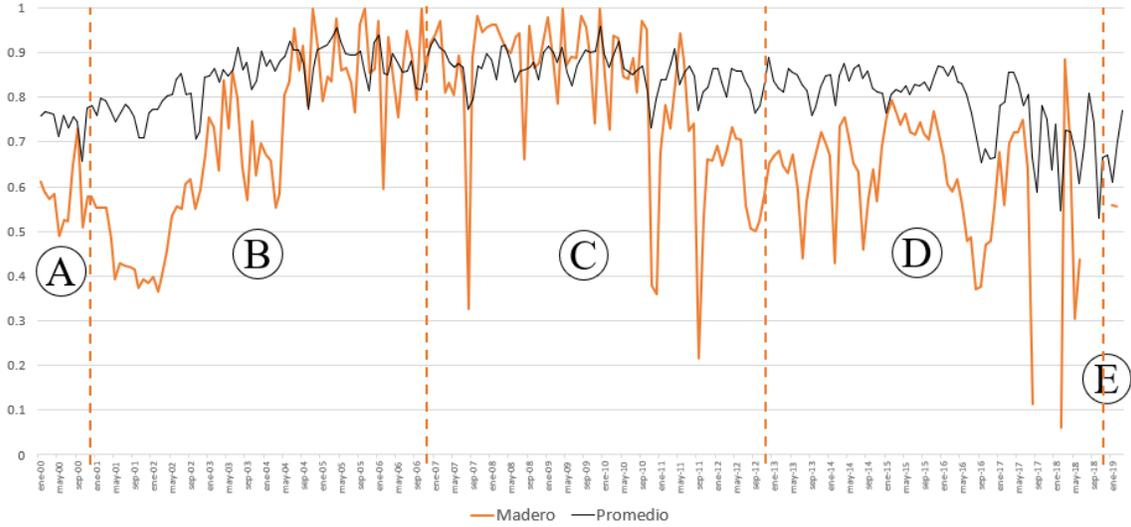


Figura 5: Eficiencia de la refinería Madero, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia)

6.2.3 Refinería de Minatitlán

La refinería Minatitlán fue la mejor evaluada de todas con una eficiencia promedio de 91.50% (+9.19% del promedio global) (Tabla 2). Podemos observar que en la mayoría de los meses Minatitlán tienen una eficiencia muy cercana al 100%, más aun, durante 20 meses (8.66% del periodo completo) obtuvo una eficiencia promedio del 100% (Figura 6). En mayoría de los periodos no se pueden observar diferencias estadísticamente significativas. Solamente, se encuentran problemas en el sexenio de Enrique Peña Nieto. Este sexenio fue significativamente malo a comparación con los sexenios de Vicente Fox (-9.51%, $p = .003$) y de Felipe Calderón (-7.25%, $p = .037$). En estos dos periodos la volatilidad fue de 6.94% y 6.52% respectivamente, mientras que en el sexenio de Enrique Peña Nieto esta subió al 19.88% (Tabla 2), Considerando los resultados obtenido en Minatitlán, podemos rechazar la hipótesis H1

En el caso de la Reforma energética, podemos identificar que durante el periodo III existió una disminución en el nivel de eficiencia a comparación del periodo II (8.90%, $p = .017$). Al analizar el periodo III se observa una disminución significativa (9.75%, $p = .003$) a comparación del periodo I, lo que nos lleva a rechazar la hipótesis H2, lo cual hace mucho sentido debido a que durante el periodo de la Reforma energética la volatilidad subió significativamente pasando de 4.96% antes de la reforma a 21.45% durante la Reforma.

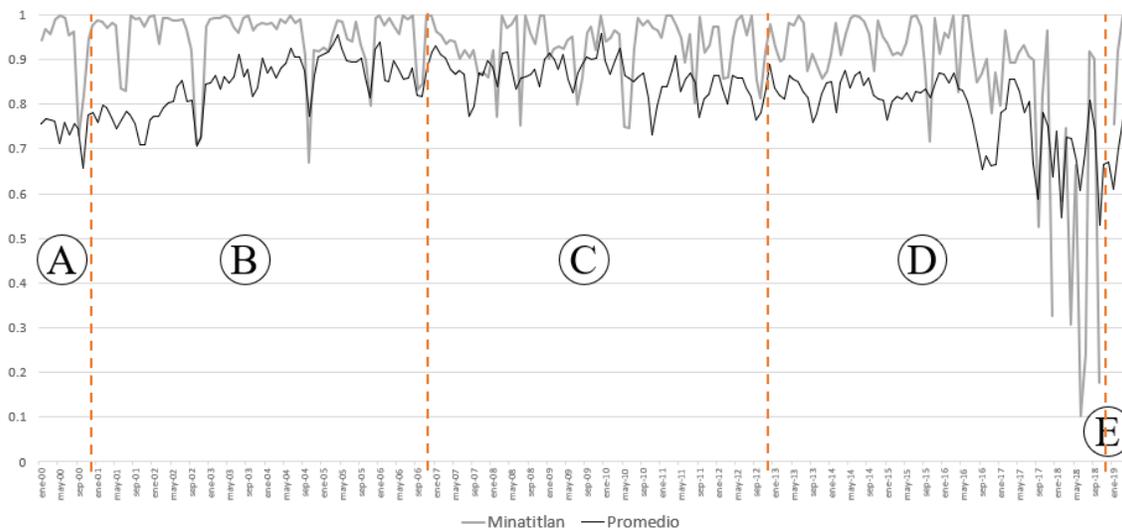


Figura 6: Eficiencia de la refinería Minatitlán, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia)

6.2.4 Refinería de Salamanca

La eficiencia promedio de la refinería de Salamanca fue de 75.34%, a pesar de mantener una eficiencia promedio por debajo de promedio global esta refinería mostró ser la más estable de todas durante los diferentes sexenios ya que mostró una volatilidad de 9.32% (la más baja de todas). Contrario con las otras refinerías, la eficiencia más alta se puede observar durante el sexenio de Enrique Peña Nieto (79.55%, volatilidad 9.23%), el cual fue significativamente superior al sexenio de Ernesto Zedillo (5.38%, $p = .018$), al sexenio de Vicente Fox (4.81%, $p = .003$) y al sexenio de Felipe Calderón (5.77%, $p = .000$). Considerando que la estrategia de Enrique Peña Nieto resultó ser significativamente superior en Salamanca, podemos rechazar la hipótesis H1.

En cuanto a la Reforma energética podemos observar que la eficiencia del periodo III fue significativamente menor (-4.28%, $p = .035$) a la eficiencia del periodo II, además, podemos observar que el periodo III fue significativamente superior al periodo I, (+5.39%, $p = .001$). Por lo anterior no podemos rechazar la hipótesis H2 en Salamanca, de hecho, a pesar de que la reforma mostró un efecto negativo durante el sexenio de Enrique Peña Nieto la eficiencia promedio mostró ser significativamente superior con y sin reforma a comparación de los otros sexenios.

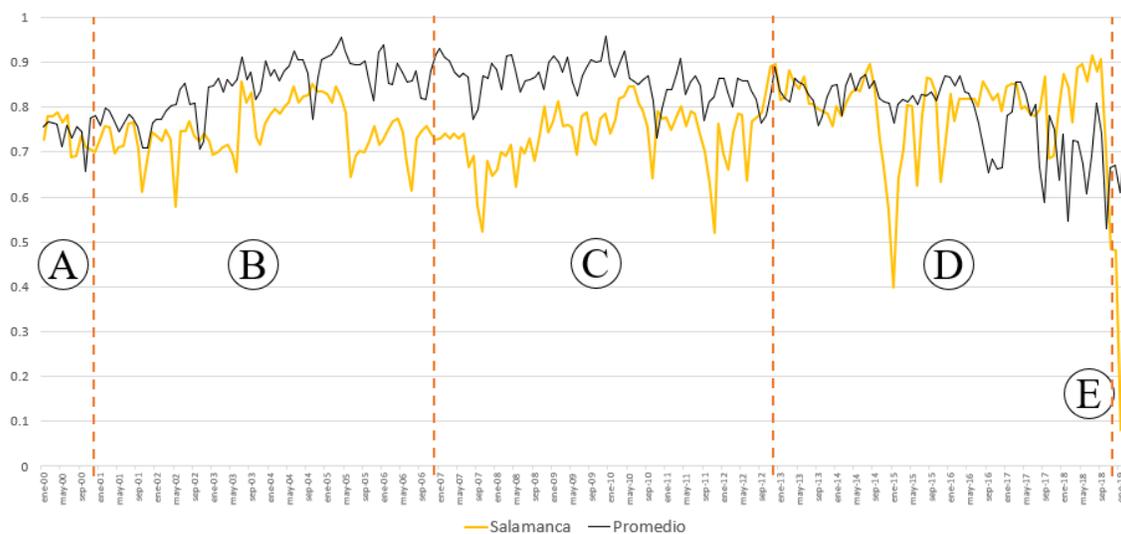


Figura 7: Eficiencia de la refinería Salamanca, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia)

6.2.5 Refinería de Salina Cruz

Refinería Salina Cruz es la refinería con la segunda eficiencia más alta 88.95% (+6.64% arriba del promedio global). Salina Cruz tuvo mejor eficiencia durante el primer sexenio de Ernesto Zedillo (94.17%, volatilidad 11.85%), (recordando que solo se cuentan con 11 meses de este sexenio). Desde este sexenio, el eficiencia de la refinería ha bajado lenta y constantemente (Figura 8): -1.87% durante el sexenio de Vicente Fox ($p = .986$), -5.72% durante el sexenio de Felipe Calderón ($p = .573$), -8.39% durante el sexenio de Enrique Peña Nieto ($p = .290$) y -15.04% durante el sexenio de Andrés Manuel López Obrador ($p = .035$), la cual será descartada debido a que no se cuenta con información suficiente y a que durante el inicio de este sexenio el presidente Andrés Manuel López Obrador cerró las refinerías debido al huachicoleo. Debido a lo anterior no podemos rechazar la hipótesis H1. En el caso de Salina Cruz ninguna estrategia afectó el desempeño de la refinería de manera significativa.

Pudimos observar una disminución significativa en la eficiencia del sexenio de Enrique Peña Nieto del periodo II al periodo III (-11.87%, $p = .000$), siendo esta la única diferencia estadísticamente significativa, por lo cual podemos rechazar la hipótesis H2.

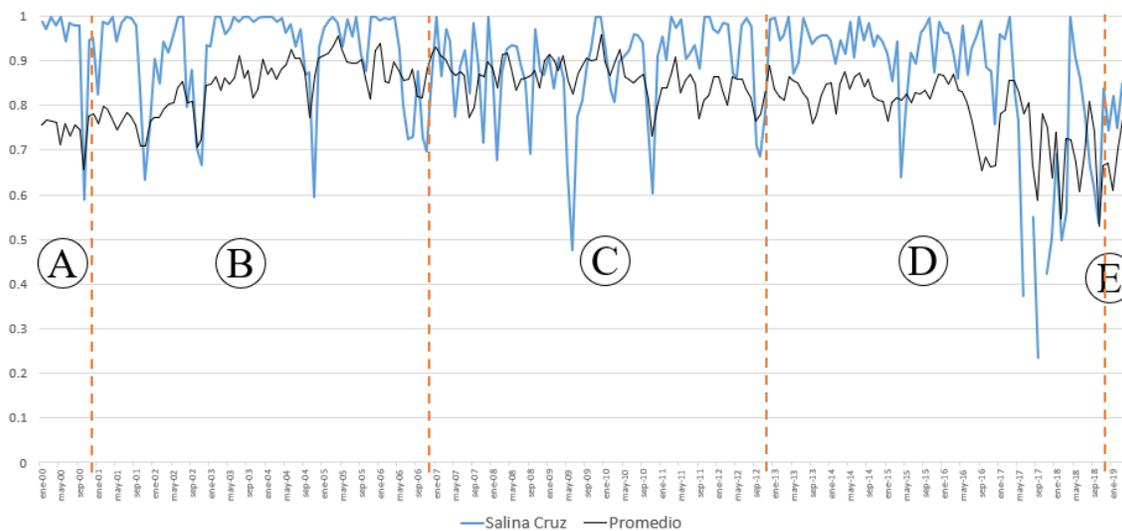


Figura 8: Eficiencia de la refinería Salina Cruz, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia)

6.2.6 Refinería de Tula

La refinería de Tula tuvo una eficiencia promedio alta, +5.88% arriba del promedio global de las refinerías. Durante el sexenio de Ernesto Zedillo, la eficiencia fue de 88.17%, mientras que en el sexenio de Vicente Fox creció hasta 91.79%, sin embargo, el aumento no mostró ser significativo ($p = .746$). La eficiencia más alta se observa durante el sexenio de Felipe Calderón (92.91%). La eficiencia bajo significativamente durante el sexenio de Enrique Peña Nieto donde la eficiencia promedio fue de 80.93% (-11.97%, $p = .000$). Debido a que existe al menos un caso en el cual la estrategia mostró ser significativa, rechazamos la hipótesis H1.

Durante el periodo II y III pudimos observar una disminución en la eficiencia promedio de 3.67%, la cual no mostró ser estadísticamente significativa, en general, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, por lo cual, no se rechaza la hipótesis H2

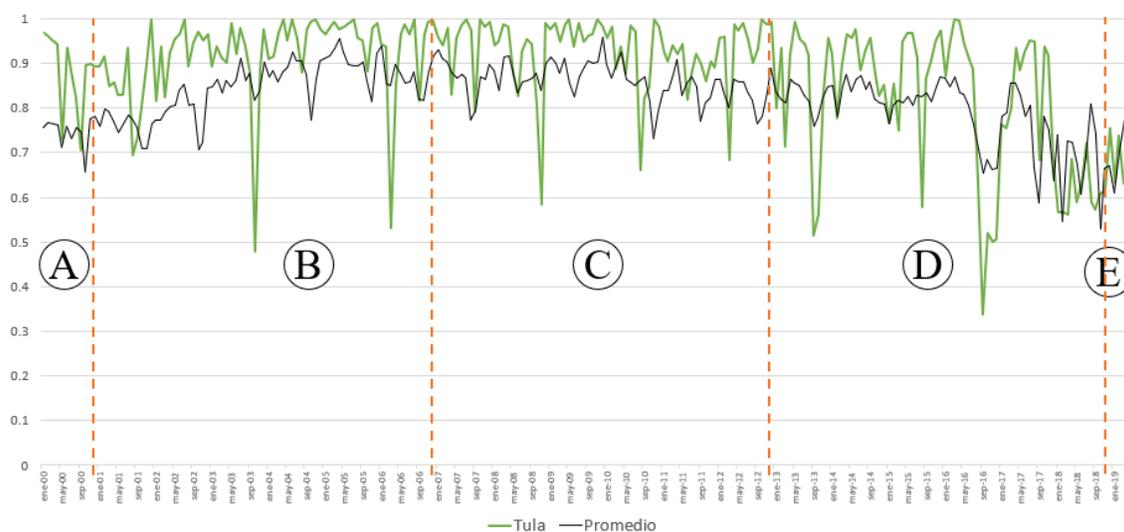


Figura 9: Eficiencia de la refinería Tula, enero 2010 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia)

6.2.7 Resultados de las hipótesis

Hipótesis	Cadereyta	Madero	Minatitlán	Salamanca	Salina Cruz	Tula
<i>Hipótesis H1: No hay diferencia estadísticamente significativa en el nivel de eficiencia de la o las refinерías considerando los diferentes sexenios</i>	Se Rechaza la hipótesis	Se Rechaza la hipótesis	Se Rechaza la hipótesis	Se Rechaza la hipótesis	No se Rechaza la hipótesis	Se Rechaza la hipótesis
<i>Hipótesis H2: No hay diferencia estadísticamente significativa en el nivel de eficiencia de la o las refinерías antes y después de la reforma energética</i>	No se Rechaza la hipótesis	No se Rechaza la hipótesis	Se Rechaza la hipótesis	No se Rechaza la hipótesis	Se Rechaza la hipótesis	No se Rechaza la hipótesis

Tabla 3: Resultado de hipótesis H1 y H2 por refinерía (fuente: elaboración propia)

Como se puede observar en las secciones 6.1 y 6.1.1, de manera global, ambas hipótesis podrían ser rechazadas, pero al analizar cada caso podemos concluir lo siguiente para cada hipótesis:

Hipótesis H1

Observando la Tabla 3 vemos que en 5 de 6 refinерías las estrategias de manejo de las refinерías de cada presidente mostraron diferencias estadísticamente significativas. El único caso donde las estrategias seleccionadas por los presidentes resultaron no ser estadísticamente significativas fue en el caso de la refinерía Salina Cruz. Como se podrá observar en la Figura 8, Salina Cruz es una de las refinерías más constantes en su nivel de eficiencia y una de las menos volátiles. Debido a lo anterior, rechazamos la hipótesis H1, concluyendo que las estrategias elegidas en cada sexenio afectan de manera significativa el nivel de eficiencia de cada refinерía.

Hipótesis H2

A pesar de que de manera global existía evidencias significativas para rechazar esta hipótesis, de manera particular no, ya que en 4 de 6 refinerías no se observaron diferencias estadísticamente significativas para afirmar que la reforma energética afectó la eficiencia de su producción.

Si nos enfocamos en las refinerías de Cadereyta y Madero, podemos notar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el periodo II (Enrique Peña Nieto sin Reforma) y el periodo III (Enrique Peña Nieto con Reforma), pero ambos periodos fueron significativamente inferiores al periodo I, lo cual puede significar que la sinergia negativa pertenece más a la estrategia que a la reforma. En cuanto a Minatitlán y Salina Cruz se puede aceptar que la reforma afectó de manera significativa la eficiencia de estas refinerías. En lo que concierne a Tula y Salamanca, estas mostraron no tener ninguna diferencia estadísticamente significativa con la reforma. Debido a que en la mayoría de las refinerías no se observa de manera clara un efecto significativo de la reforma energética no rechazamos nuestra hipótesis H2, concluyendo que la reforma energética no afectó la eficiencia de las refinerías.

Esto nos lleva a conclusión de que el único factor importante para determinar la eficiencia de las refinerías es la estrategia que cada presidente elige, por lo cual continuaremos con el análisis del nivel de eficiencia que obtuvo cada presidente con el fin de determinar qué tan significativa fue la diferencia entre cada una de sus estrategias.

6.3 Eficiencia presidencial

Por lo último, se analizarán las eficiencias de la producción considerando los seis años de cada sexenio de nuestros presidentes. Debido a que los datos no incluyen misma cantidad de periodos para los presidentes Ernesto Zedillo y Andrés Manuel López Obrador, el análisis se enfoca solamente a los sexenios de Vicente Fox, Felipe Calderón y Enrique Peña Nieto.

En la Figura 10 se muestra la eficiencia promedio de las refinerías por mes. Esta vez, la eficiencia de cada sexenio se proyecta igualmente desde primer mes hasta el último mes de los sexenios. Por eso, se decidió llevar el análisis en 6 periodos, cada uno refiriendo a un año presidencial. En el caso de Vicente Fox, la eficiencia de su estrategia fue creciendo del primer

año hasta el quinto con un incremento promedio de +3.47% anual, durante el último año, la eficiencia bajó por 2.96% (Figura 11). Resultando en el crecimiento final de 10.93% (Tabla 6), el crecimiento más alto con respecto a las otras estrategias durante sus seis años de mandato, de manera global la estrategia Vicente Fox obtuvo una eficiencia promedio de 84.27% y una volatilidad de 6%.

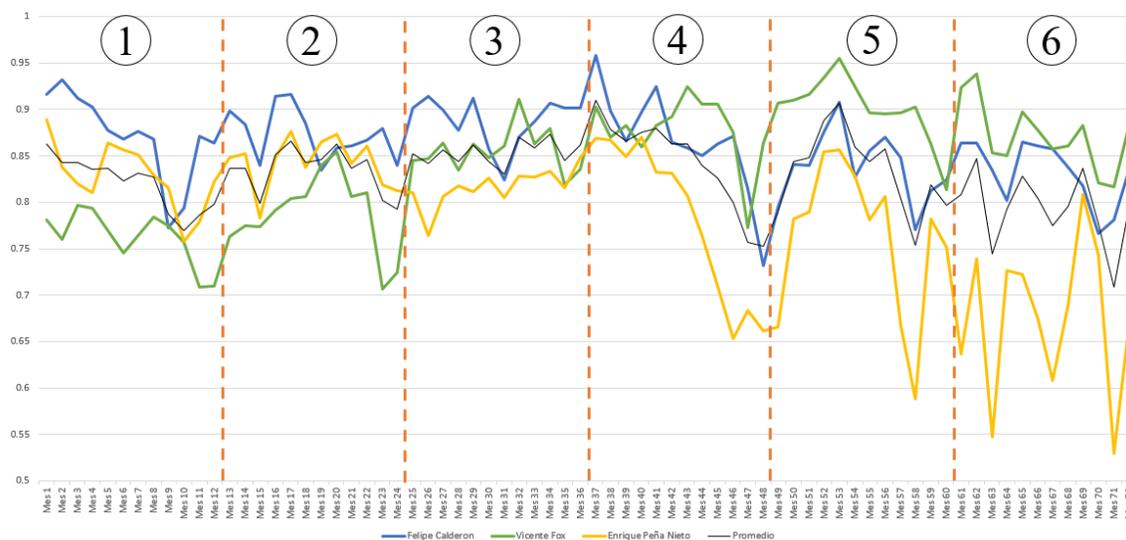
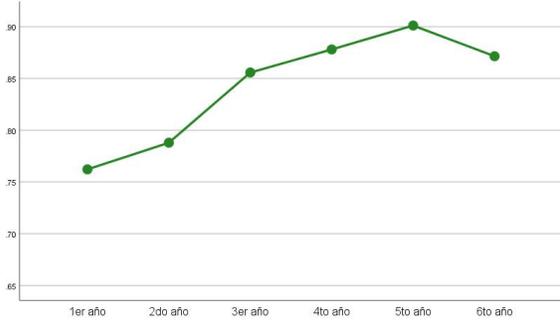


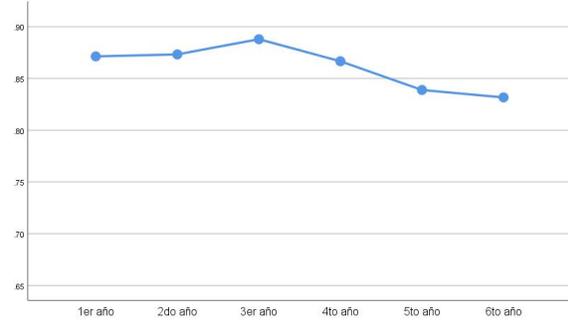
Figura 10: Eficiencia por meses de cada sexenio (fuente: elaboración propia)

Durante el sexenio de Felipe Calderón, se puede observar una estabilidad relativa de la eficiencia comparando los otros sexenios (Figura 11) que resultó en cambios significativos (Tabla 7). Durante los primeros tres años se observa un crecimiento promedio de +.56% ($p = .887$) y una caída durante la segunda mitad del sexenio (-1.87% por año). Aunque el sexenio presenta una estabilidad, la caída al final del sexenio es estadísticamente significativa ($p = .002$). De manera global la estrategia de Felipe Calderón obtuvo una eficiencia de 86.16% y una volatilidad de 4.5%.

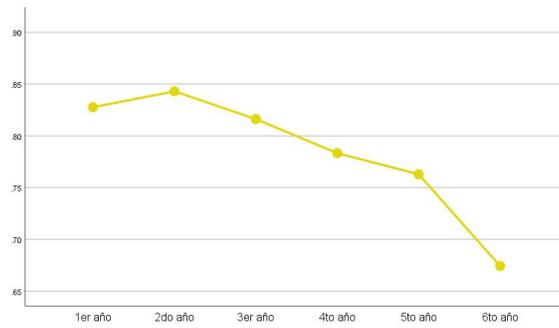
El sexenio de Enrique Peña Nieto presenta una caída constante de la eficiencia de las refinерías después el crecimiento de 1.5% en el segundo año (Figura 11). La eficiencia bajando en promedio de -4.22% cada año durante los últimos 4 años del sexenio. La diferencia en la eficiencia promedio durante el primer año y el último es -15.34% ($p = .000$) la cual es significativa, desde el segundo año es aún más de -16.88% ($p = .000$) (Tabla 8), ambas significativas. En general la estrategia de Enrique Peña Nieto obtuvo un nivel de eficiencia de 78.45% y una volatilidad del 8.19%.



(a)



(b)



(c)

Figura 11: Eficiencia promedio anual de cada sexenio separado por presidentes: a) Vicente Fox, b) Felipe Calderón y c) Enrique Peña Nieto (fuente: elaboración propia)

7 Discusión

En general se puede observar que todos los presidentes sufren una ligera caída en el nivel de eficiencia durante los primeros y últimos meses de su gobierno (Figura 10), lo cual puede ser justificables por la incertidumbre generada por la transición de presidente.

Si analizamos gráficamente la eficiencia de cada estrategia, podemos notar que la estrategia de Vicente Fox fue la que logró un mayor crecimiento durante todo su sexenio, sin embargo, mostró una volatilidad muy definida durante la misma, no así la estrategia de Felipe Calderón, la cual a pesar de no contar con el crecimiento con el que cuenta la estrategia de Vicente Fox, Felipe Calderón logró tener una estabilidad más clara además de conseguir el nivel de eficiencia global más alto. Lo que también podemos observar es caída constante en la estrategia de Enrique Peña Nieto. Con el fin de mostrar los resultados de manera más ordenada decidimos clasificar a las estrategias en (Tabla 4):

- “Estrategias eficientes”: Son aquellas que tuvieron una eficiencia promedio de al menos 85% y una volatilidad de a lo más 5%. Se le asigna esta clasificación ya que estos números indicarían que en promedio la eficiencia se encuentra entre (80%, 90%), lo que daría un estabilidad y buenas ganancias a Pemex, además de brindarle una facilidad de planeación relativa.
- “Estrategias parcialmente eficientes”: Son aquellas que tuvieron una eficiencia promedio de al menos 80% y una volatilidad de a lo más 7%. Se le asigna esta clasificación ya que estos números indicarían que en promedio la eficiencia se encuentra entre (73%, 87%), lo que podría brindar beneficios similares a la anterior clasificación, pero con una incertidumbre considerable, la cual complicaría la planeación de Pemex.
- “Estrategias no eficientes”: Son aquellas que tuvieron una eficiencia promedio de al menos 70% y una volatilidad de a lo más 10%. Se le asigna esta clasificación ya que estos números indicarían que en promedio la eficiencia se encuentra entre (60%, 80%) de eficiencia, lo que brindaría a Pemex rendimientos muy volátiles que en la mayoría de los casos no superarían el 80%, esto afectaría las utilidades y la planeación de Pemex.

- “Estrategias no aceptables”: Son aquellas que tuvieron una eficiencia promedio menor al 70% y una volatilidad mayor al 10%. Se les asigna esta clasificación debido a que los rendimientos serían considerablemente bajos y muy volátiles. Afortunadamente no se cuenta con ningún caso.

Con base a lo anterior clasificamos las estrategias de la siguiente manera:

Clasificación	Presidente	Eficiencia Promedio	Volatilidad
Estrategia eficiente	Felipe Calderón	86.16%	4.28%
Estrategia parcialmente eficiente	Vicente Fox	84.27%	6.04%
Estrategia no eficiente	Enrique Peña Nieto	78.45%	8.19%

Tabla 4: Clasificación de estrategias (fuente: elaboración propia)

Como hemos observado uno de los factores que pudieron llevar a Pemex a su crisis del 2015 fue la estrategia elegida por el presidente Enrique Peña Nieto, a pesar de que su reforma energética no mostró ser estadísticamente significativa, la estrategia que escogió desde el inicio de su sexenio si lo fue, lo cual responde parcialmente nuestro objetivo principal. Debido a esto surge la necesidad de identificar de manera más clara que refinerías son eficientes y cuáles no. Para poder clasificar las refinerías utilizaremos los mismos parámetros, aunque aumentando la volatilidad y enfocándonos más en la eficiencia promedio, esto debido a que la transición de una estrategia a otra y la estrategia por si sola afectan significativamente la volatilidad (Tabla 5). Por lo cual definimos como:

- “Refinerías eficientes”: Son aquellas que tuvieron una eficiencia promedio de al menos 85% y una volatilidad de a lo más 14%.
- “Refinerías parcialmente eficientes”: Son aquellas que tuvieron una eficiencia promedio de al menos 80% y una volatilidad de a lo más 16%.
- “Refinerías no eficientes”: Son aquellas que tuvieron una eficiencia promedio de al menos 70% y una volatilidad de a lo más 18%.
- “Refinerías no aceptables”: Son aquellas que tuvieron una eficiencia promedio menor al 70% y una volatilidad mayor al 20%.

Clasificación	Refinería	Eficiencia Promedio	Volatilidad
Refinerías Eficientes	Minatitlán	91.50%	13.00%
	Salina Cruz	89.00%	13.10%
	Tula	88.20%	13.00%
Refinerías Parcialmente Eficientes	Cadereyta	80.20%	16.00%
Refinerías No Eficientes	Salamanca	75.30%	9.30%
Refinerías No Aceptables	Madero	70.10%	18.60%

Tabla 5: Clasificación de las refinerías (fuente: elaboración propia)

Según Limón (2018), la producción de Pemex enfrenta tres principales limitaciones: 1) menor producción petrolera a lo que se suma que la mayor extracción es en su mayoría de crudo pesado; 2) claras ineficiencias en la operación de las refinerías y 3) presupuesto precario para la dirección de Pemex Transformación Industrial encargada del Sistema Nacional de Refinación (SNR). Las ineficiencias técnicas refieren a demasiados paros no programados, lo que suelen ocurrir por falta de insumos esenciales, energía eléctrica, fallos en los equipos o bien retrasos en los mantenimientos. Pemex tiene 7 veces más paros no programados en las refinerías que el promedio internacional (Limón, 2018). El problema del financiamiento señala que desde los años ochenta del siglo XX el presupuesto que se destina a las refinerías es insuficiente porque Pemex decidió orientar sus recursos a la exploración y explotación de petróleo.

En este sentido, Ramírez-Cendrero y Paz (2017) observaron que la mayoría de las inversiones de Pemex están destinadas a exploración (aproximadamente 90% de todas sus inversiones). Por otro lado, la inversión en la parte de producción o la parte de desarrollo industrial es residual. Es decir, Pemex ha dado prioridad a la explotación de petróleo y gas para incrementar ingresos sobre estrategias como autosuficiencia energética (refinación) o diversificación de la producción (petroquímica). La falta de inversión en mejora de producción ha provocado un incremento de costos de la producción, los cuales crecieron más de 15% desde el 2000 (Clavellina Miller, 2014).

8 Conclusiones

Lo que se puede observar con los resultados obtenidos en esta tesis es que la capacidad de producción de cada refinería perteneciente a Pemex depende de manera significativa de la capacidad de refinación, del terreno disponible de cada refinería, de las plazas de trabajo y el presupuesto económico asignado. También pudimos observar que la estrategia asignada por cada presidente afecta de manera significativa el nivel de eficiencia de cada refinería y que los recursos asignados tienden a no ser siempre los suficientes, generando interrupciones inesperadas. En 2019, menos del 50% de la demanda interna se cubrió con producción nacional (Granados-Hernández et al., 2013). Pudimos identificar que una de las reformas más polémicas que se dio durante el sexenio de Enrique Peña Nieto; “La Reforma Energética” no afectó de manera significativa el nivel de eficiencia de las refinerías, que no significa que la reforma sea buena o mala si bien pudo haber afectado en factores económicos como lo mencionó (El Financiero, 2016), esta tesis no analiza ese factor por que no podemos refutar o negar dichas afirmaciones.

Respondiendo a nuestro objetivo principal, podemos concluir que:

- 1) De manera global y particular las estrategias elegidas por los presidentes pueden llevar a las refinerías a un nivel de eficiencia alto o bajo, en particular notamos que la estrategia elegida por Enrique Peña Nieto acompañada por el pobre desempeño de las refinerías “No Eficientes” y “No Aceptables” como lo fueron las refinerías de Salamanca y Madero pudieron ser un factor para la crisis que sufrió Pemex a finales de 2015.
- 2) De manera global la Reforma Energética mostró tener un efecto significativo, sin embargo, la sinergia negativa fue una constante antes y después de la reforma (Figura 11), lo que podría indicar que la principal causa de la baja en la eficiencia fue por la estrategia de Enrique Peña Nieto. De manera particular observamos que la Reforma Energética no mostró tener un efecto significativo lo cual hace sentido debido a que la reforma no modificó los recursos económicos, de espacio, de mano de obra y de pozos con los cuales las refinerías pueden contar.

Dicho esto, sería interesante que futuros gobiernos analizaran cuáles fueron los factores que llevaron a:

- Felipe Calderón a mantener nivel de eficiencia alto y estable.
- Vicente Fox a mantener un crecimiento constante en su nivel de eficiencia.
- Enrique Peña Nieto a tener una caída constante en su nivel de eficiencia.

Es importante que nuestros presidentes dejen atrás sus partidos políticos y analicen la historia de todas las estrategias escogidas por sus predecesores y aprendan de los errores y aciertos que se han tenido a lo largo de la historia de Pemex.

9 Referencias

- Al-Najjar, S.M. & Al-Jaybajy, M.A. (2012) 'Application of data envelopment analysis to measure the technical efficiency of oil refineries: A Case Study', *International Journal of Business Administration*, vol. 3, no. 5, pp. 64-77. <http://dx.doi.org/10.5430/ijba.v3n5p64>
- Barros, C. & Assaf, A. (2009) 'Bootstrapped efficiency measures of oil blocks in Angola', *Energy Policy*, vol. 37, no. 10, pp. 4098-4103. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.007>
- Cavalheiro Francisco, C., Rodrigues de Almeida, M. & Ribeiro da Silva, D. (2012) 'Efficiency in Brazilian refineries under different DEA technologies', *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 4, pp. 1-11. <https://dx.doi.org/10.5772/52799>
- Charnes, A. & Cooper, W.W. (1962) 'Programming with linear fractional functionals', *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 9, no. 3-4, pp. 181-186. <http://dx.doi.org/10.1002/nav.3800090303>
- Charnes, A., Cooper W.W. & Rhodes E. (1978) 'Measuring the efficiency of decision making units', *European Journal of Operational Research*, vol. 2, no. 6, pp. 429-44. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Clavellina Miller, J.L. (2014) 'Reforma energética, ¿era realmente necesaria?', *Economía Informa*, vol. 385, pp. 3-45. [https://doi.org/10.1016/S0185-0849\(14\)70417-7](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(14)70417-7)
- Cooper, W.W., Seiford, L.M. & Tone, K. (2007) *Data Envelopment Analysis: A comprehensive text with models, applications, references, and DEA-solver software*. New York, Springer.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M. & Zhu, J. (2011) *Handbook on Data Envelopment Analysis*. International Series in Operations Research & Management Science; 164. Springer, 2nd edition. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8>
- Dyson, R.G., Allen, R., Camanho, A.S., Podinovski, V.V., Sarrico, C.S. & Shale, E.A. (2001) 'Pitfalls and protocols in DEA', *European Journal of Operational Research*, vol. 132, pp. 245-259. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00149-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00149-1)

El Financiero (2016) *Pérdida neta de Pemex se duplicó en el 2015*. [en línea], recuperado de: <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/perdida-neta-de-pemex-se-duplico-en-el-2015> [20 mayo 2019].

Expansión (2018) *La nueva refinería de AMLO recibirá 50,000 mdp en 2019*, [en línea], disponible: Recuperado: <https://expansion.mx/empresas/2018/12/15/la-nueva-refineria-de-amlo-quiere-50-000-mdp-para-2019> [4 dic 2019].

Farrel, M.J. (1957) 'The Measurement of Productive Efficiency', *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, vol. 120, no. 3, pp. 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>

Flégl, M. (2014) *Návrh metodiky financování vysokých škol (Propuesta de metodología de financiamiento universitario)*, Tesis Doctoral, Czech University of Life Sciences Prague, República Checa.

Gobierno de México (2015) *Explicación ampliada de la Reforma Energética*. [en línea], recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/10233/Explicacion_ampliada_de_la_Reforma_Energetica1.pdf [25 mayo 2019].

Gobierno de México (2019a) *Orden Jurídico Nacional: Artículo 27*. [en línea], recuperado de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/27.pdf> [10 Oct 2019].

Gobierno de México (2019b) *Orden Jurídico Nacional: Artículo 28*. [en línea], recuperado de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/articulos/28.pdf> [5 enero 2020].

Gobierno de México (2019c) *81 aniversario de la Expropiación Petrolera*, [en línea], recuperado de: <https://www.gob.mx/inafed/es/articulos/81-aniversario-de-la-expropiacion-petrolera?idiom=es> [9 jun 2020].

Granados-Hernández, E., López-Andrade, X., Bravo-Álvarez, H. & Sosa-Echeverría, R. (2013) 'Refinación de petróleo y su impacto económico-tecnológico para la producción de gasolinas en México al 2030', *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 14, no. 4, pp. 475-487. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72259-5](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72259-5)

Limón, A. (2018) *Factores que inciden en la industria de la refinación en México*, [en línea],

recuperado de: <https://ciep.mx/factores-que-inciden-en-la-industria-de-refinacion-en-mexico/> [30 sep 2019].

Mekaroonreung, M. & Johnson, A. (2010) 'Estimating the efficiency of American petroleum refineries under varying assumptions of the disposability of bad outputs', *International Journal of Energy Sector Management*, vol. 4, no. 3, pp. 356-398. <https://doi.org/10.1108/17506221011073842>

Nemati, M., Kazemi Matin, R. & Toloo, M. 2020. A two-stage DEA model with partial impacts between inputs and outputs: application in refinery industries. *Annals of Operations Research*: in press. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03665-x>

Pemex (s.f.). *Historia de Petróleos Mexicanos*, [en línea], recuperado de: <https://www.pemex.com/acerca/historia/Paginas/default.aspx> [9 jul 2020].

Pemex (2008) *Programa para Incrementar la Eficiencia Operativa en Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios (PEO)*, junio de 2008, [en línea], recuperado de: https://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/bp_117-08_peofinal.pdf

Pemex (2018). *Con plan nacional de refinación, México alcanzará soberanía energética*, Romero Oropeza, [en línea], recuperado de: https://www.bmv.com.mx/docs-pub/eventore/eventore_881490_2.pdf [12 oct 2019].

Pemex (2019) *Petróleos Mexicanos | Base de Datos Institucional [Conjunto de datos]*, [en línea], recuperado de: <http://ebdi.pemex.com/bdi/bdiController.do?action=temas> [28 ago 2019].

Petroamazonas EP (2017). *Cuatro indicadores evidencian la eficiencia de Petroamazonas EP en 2017*, [en línea], recuperado de: <https://www.petroamazonas.gob.ec/?p=7189> [7 jul 2020].

Ramírez-Cendero, J. & Paz, M. (2017) 'Oil fiscal regimes and national oil companies: A comparison between Pemex and Petrobras', *Energy Policy*, vol. 101, pp. 473-483. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.11.009>

Romo, D. (2016) 'Refinación de petróleo en México y perspectiva de la Reforma energética', *Problemas del Desarrollo*, Vol. 47, No. 187, pp. 139-164. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.10.005>

Saldaña Zorrilla, S. (2017). *Breve historia de la industria petrolera mexicana*, Sin embargo, [en línea], recuperado de: <https://www.sinembargo.mx/21-03-2017/3177595> [9 jul 2020].

Sinembargo.mx (2018). *México abandonó refinerías y al mismo tiempo, en Texas, levantan nuevas para vendernos gasolina*, [en línea], recuperado de: <https://www.sinembargo.mx/17-06-2018/3429426> [28 oct 2019].

Vikas, V. & Bansal, R. (2019) 'Efficiency evaluation of Indian oil and gas sector: data envelopment analysis', *International Journal of Emerging Markets*, vol. 14, no. 2, pp. 362-378. <https://doi.org/10.1108/IJoEM-01-2018-0016>

10 Anexo

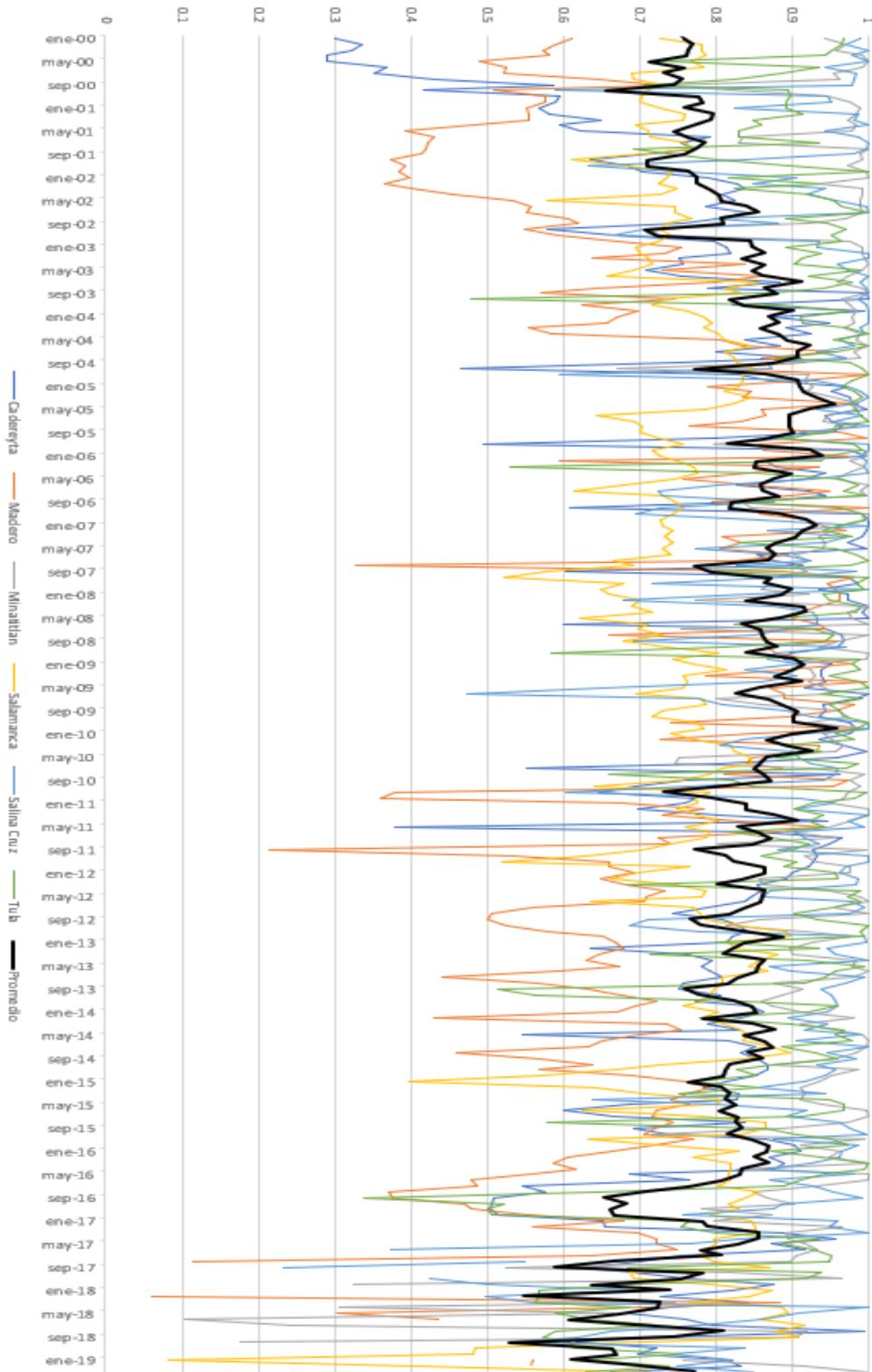


Figura 12: Análisis de eficiencia de las refinerías, enero 2000 – marzo 2019 (fuente: elaboración propia)

	2do año	3er año	4to año	5to año	6to año
1er año	-2.58% (.532)	-9.36% (.000)***	-11.59% (.000)***	-13.90% (.000)***	-10.93% (.000)***
2do año		-6.77% (.002)***	-9.00% (.000)***	-11.32% (.000)***	-8.35% (.001)***
3er año			-2.23% (.545)	-4.54% (.017)**	-1.57% (.807)
4to año				-2.31% (.651)	+65% (.998)
5to año					+2.96% (.367)

Tabla 6: Diferencias en eficiencia anual de las refinéras por sexenio de Vicente Fox, donde * nivel de confianza 90%, ** 95% y *** 99% (fuente: elaboración propia)

	2do año	3er año	4to año	5to año	6to año
1er año	-1.18% (1.000)	-1.66% (.887)	+4.7% (1.000)	+3.24% (.440)	+3.96% (.212)
2do año		-1.47% (.772)	+6.6% (.999)	+3.43% (.154)	+4.15% (.037)**
3er año			+2.13% (.837)	+4.90% (.015)**	+5.62% (.002)***
4to año				+2.77% (.714)	+3.49% (.469)
5to año					+7.1% (.996)

Tabla 7: Diferencias en eficiencia anual de las refinéras por sexenio de Felipe Calderón, donde * nivel de confianza 90%, ** 95% y *** 99% (fuente: elaboración propia)

	2do año	3er año	4to año	5to año	6to año
1er año	-1.53% (.842)	+1.14% (.925)	+4.44% (.570)	+6.48% (.184)	+15.34% (.000)***
2do año		+2.68% (.111)	+5.97% (.250)	+8.01% (.059)*	+14.2% (.001)***
3er año			+3.29% (.776)	+5.33% (.311)	+14.20% (.001)***
4to año				+2.03% (.990)	+10.90% (.043)**
5to año					+8.86% (.131)

Tabla 8: Diferencias en eficiencia anual de las refinerías por sexenio de Enrique Peña Nieto, donde

* nivel de confianza 90%, ** 95% y *** 99% (fuente: elaboración propia)