

### *Dinámica del petróleo en México. Un modelo de dos sectores*

KARLA FONSECA ROCHA<sup>1</sup> Y CLAUDIA S. GÓMEZ LÓPEZ<sup>2</sup>

- **Resumen:** El artículo hace un análisis de un monopolio que extrae un recurso no renovable que se enfrenta a dos mercados: uno nacional y uno exterior. Utilizamos evidencia de la economía mexicana respecto a las tres mezclas de petróleo que se producen y exportan. Utilizamos el modelo de Fischer y Laxminayaran (2004) y lo extendemos al caso de la economía mexicana con dos mercados y tres bienes. Los resultados que encontramos son los siguientes: (i) la mezcla más competitiva de la economía mexicana es la Maya al ser la más barata, la que más se produce y la que más se exporta; (ii) los precios son más volátiles que las variables de producción que se consideraron en el estudio; (iii) las elasticidades de las mezclas Istmo y Olmeca son las más inelásticas, por lo que un aumento en el precio de estas mezclas disminuye su cantidad exportada. La mezcla Maya tiene una elasticidad mayor, por lo que un aumento en su precio incrementa la cantidad exportada; (iv) las mezclas son complementarias y sustitutas entre ellas en casos específicos y (v) el corolario número 1 y la proposición número 1 del modelo de Fischer y Laxminarayan se replica en el caso de la economía mexicana.
- **Palabras clave:** petróleo, elasticidades, monopolio, ciclos económicos.
- **Abstract:** This paper analyzes a monopoly firm that extracts a non renewable resource (oil) and faces two markets: domestic and international. We use mexican empirical evidence regarding the three mexican crude oil types (Maya, Istmo y Olmeca) available at the mexican market. We use Fischer and Laxminayaran (2004) model and modify it to the mexican economy which is characterized by two markets and three commodities (crude oil) types. Our main results are: (i) the Maya commodity type is

---

<sup>1</sup> Banco Del Bajío, S. A. Email: kfonsecar@bb.com.mx

<sup>2</sup> Departamento de Economía y Finanzas, Universidad de Guanajuato. DCEA-Campus Guanajuato. E-mail: claudia.gomez@ugto.org

the most competitive in prices and exports; (ii) prices are more volatile than real variables in the Mexican petroleum market; (iii) Istmo and Olmeca Mexican commodities are more inelastic, so an increase in price decreases the quantity for the international market; (iv) we find complementarities and also substitution relationships between the oil Mexican crude oil commodities in some special cases and, finally, (v) Fischer and Laxminarayan results are applicable to the Mexican economy.

- **Keywords:** oil, elasticities, monopoly, business cycles.

- **Clasificación JEL:** D40, D42, F0, Q30

- **Recepción:** 08/03/2013

**Aceptación:** 30/10/2014

- *Introducción*

Estudiamos un modelo de monopolio en México del petróleo crudo como recurso no renovable que se enfrenta a dos mercados: uno exterior y uno interior. Explicamos el comportamiento del monopolio con evidencia empírica cuando se enfrenta a cada uno de los mercados que se proponen.

Hacemos una extensión del modelo de Fischer y Laxminarayan (2004). Ellos estudian un modelo de monopolio que comercializa un recurso natural no renovable en dos mercados diferentes. Utilizamos datos de PEMEX e INEGI, entre otros, para obtener evidencia empírica que nos permitiera hacer nuestro estudio. Se clasifica a los mercados según su elasticidad y también a los bienes diferenciados que produce el monopolio. La mezcla Maya es la más competitiva de las mezclas que se produce en México al ser la que más se exporta y se utiliza como mezcla sustituta de las otras dos que se producen: Istmo y Olmeca.

Los resultados a los que llegamos con la extensión del modelo de Fischer y Laxminarayan (2004) indican que el modelo con un bien y dos mercados es también útil para explicar una economía con dos mercados y tres bienes, que es el caso de la economía mexicana. Utilizamos las elasticidades de cada mercado para verificar que se cumplen las hipótesis.

Los resultados a los que llegamos en este trabajo tienen implicaciones importantes en lo que se refiere a política económica. La creación y aplicación de políticas públicas requieren de información detallada y específica para lograr impactos. De los resultados obtenidos se pueden aprovechar las características de las mezclas mexicanas de producción y exportación para diseñar mecanismos impositivos para aumentar la recaudación de estos, sin afectar la producción y la competitividad internacional de estos bienes.

El trabajo se organiza de la siguiente forma: en la segunda sección se presenta la revisión de la literatura enfocada en la estructura de mercado monopólica, exponiendo brevemente los trabajos previos a esta. En la tercera sección se presenta la evidencia empírica, así como al análisis de ciclos económicos y los resultados a los que se llegaron. La cuarta

sección presenta el modelo propuesto a partir del modelo de Fischer y Laxminayaran (2004), en el cual nos basamos para representar el comportamiento del monopolio de un recurso natural no renovable cuando se enfrenta a dos mercados: nacional e internacional. En la siguiente sección se presentan los resultados al obtener las elasticidades de los mercados. Finalmente, se presentan las conclusiones y comentarios finales.

### ■ *Marco teórico*

El estudio del sector energético y recursos no renovables ha adquirido relevancia notable durante los últimos años. Hay una gran cantidad y variedad de estudios que abordan el tema desde puntos de vista distintos. En la revisión de la literatura que se presenta a continuación nos enfocamos en estudios con énfasis en estructura de empresa, mercados y los precios del petróleo como recurso natural no renovable.

Milton Weinstein y Richard Zeckhauser (1975) estudian y demuestran, bajo ciertas condiciones simplificadas, que el consumo de un recurso natural no renovable que se produce bajo una estructura de mercado competitiva coincide con el socialmente óptimo. Esta solución se caracteriza por un incremento exponencial del precio en referencia a la tasa de descuento preferida de la sociedad. Hay también un costo de extracción, el crecimiento exponencial estará en la diferencia entre el precio y el costo marginal de extracción. Los participantes deben tener acceso al mercado de capital, el recurso puede ser obtenido de manera privada y no existen externalidades.

En el modelo, la producción del monopolista coincidirá con la del mercado competitivo bajo las condiciones de una elasticidad estable de la demanda. Si las elasticidades precio de la demanda aumentan en el tiempo, la maximización a valor presente dicta que la ganancia marginal aumenta con la tasa de interés. El precio aumentará por lo menos como la tasa de interés y el monopolista se conservará en un punto de vista social.

Stiglitz (1976) analiza también un recurso natural no renovable y concluye que las producciones competitivas y monopolísticas van a coincidir bajo condiciones de costos de extracción cero y una elasticidad constante de demanda. Bajo las condiciones más reales del aumento de la elasticidad de la demanda, el monopolista adoptará una política más conservadora de producción. Stiglitz enfatizó los supuestos de la producción de los recursos no renovables, tales como el carbón y el petróleo, y estos son insensibles a la estructura del mercado. Para la industria de los recursos durables que estudió Stewart (1980) no se presenta este caso. En los casos que se analizaron se asumió que el número total del recurso natural, con el tiempo, va a ser extraído sin importar la estructura de mercado a la que se enfrente. Stewart encontró que el productor monopolista de un recurso duradero será más conservador que un productor del mercado competitivo, ya que al principio producirá a una tasa baja para mantener los precios altos.

Lewis, Matthews y Burness por su parte, en el artículo de 1979, cuestionan los resultados a los que llega Stiglitz (1976), ya que dice que el monopolista extrae el recurso de manera más lenta que el planificador social. Ellos realizan una extensión, más realista, al supuesto de iso-elasticidad realizado por Stiglitz y llegan a la conclusión de que hay una tendencia de sesgo a la tasa de extracción por parte del monopolista.

La primera modificación de Lewis, Matthews y Burness (1979) es sobre los costos que no varían con la tasa de extracción y la segunda modificación es en las elasticidades de la demanda que varían con el consumo y no con el tiempo. Resultando una reacción opuesta a la propuesta por Stiglitz, es decir, que hay un uso excesivo del recurso por parte del monopolio. Presumen que esto coincidirá con la evidencia empírica.

En el caso de que estas condiciones no sean satisfechas, puede que exista un argumento para la participación del gobierno, por ejemplo, promover la producción de minerales que provea una externalidad a la seguridad nacional, para otorgar licencia a las áreas de pesca que podrían ser completamente devastadas o imponer una variedad de medidas de conservación porque un exceso de ofertantes aumentaría la tasa de interés sobre la tasa de descuento que provocaría un rápido agotamiento del recurso.

Independientemente de la demanda futura, no existe un efecto adverso sobre la optimalidad si los ofertantes son neutrales al riesgo. Realzan la importancia de las fuerzas de mercado, las cuales producen tasas de consumo apropiadas del recurso.

Kemp y Van Long en 1978, realizaron un estudio comentando el trabajo realizado por Weinstein y Zeckhauser (1975), quienes mostraron que la tasa de extracción del recurso por parte del monopolio es un subóptimo social, mientras que el que se hace por parte de un mercado competitivo es un óptimo social.

El análisis de Weinstein y Zeckhauser (1975) está basado en el supuesto de que los agentes del mercado están bien informados sobre el stock del bien. Kemp y Van Long (1978) decidieron investigar qué pasaría con el comportamiento de los agentes cuando no tienen información sobre el tamaño del stock. El supuesto que plantean es que los agentes actúan pensando que llegará algún momento en el que sean los únicos en el mercado con un stock positivo del recurso. Por ello, actuarán finalmente como un monopolio.

La conclusión a la que llegan fue que el resultado del mercado competitivo y del monopolístico no son óptimos. Pero si el monopolio presenta una elasticidad constante, este tendrá una tasa de extracción óptima.

Stewart (1980) estudió los recursos naturales que son más duraderos. Encontró que el poder de un monopolio tiene un efecto importante en la tasa de producción y en los precios del recurso. En algunos casos se ha demostrado que, inicialmente, el monopolio elige un precio alto y después lo disminuirá con el paso del tiempo. Caso contrario sucede con un mercado competitivo que iría aumentando el precio del recurso de acuerdo a la tasa de descuento de la industria a la que pertenece.

Soladay (1979) realizó un análisis empírico sobre la extracción del petróleo por un monopolio. Entre sus resultados sobresale que el monopolio selecciona una producción que tiene una trayectoria decreciente en comparación con lo que haría un mercado competitivo. Esto tiene como consecuencia un aumento en los precios domésticos del petróleo, manteniéndolos por encima de los precios mundiales.

Uno de los problemas que enfrentó fue la estimación de la extracción del petróleo. Sospecha que el "petróleo potencial" y la nueva tecnología no es tomada en cuenta realmente en la producción real del petróleo de las empresas, pero sí responde a cambios en la demanda de petróleo y costos.

Berndt y Wood (1979) estudian las elasticidades precio cruzadas entre energía e insumos no energéticos en procesos manufactureros de Estados Unidos. Realizaron

una interpretación analítica y empírica sobre una complementariedad consistente con microeconomía básica y con evidencia empírica sobre la sustituibilidad de energía y capital, la cual es posible según su trabajo. Desarrollaron la noción del capital usado, además hacen énfasis en el cuidado que debe tenerse al momento de interpretar los resultados de las comparaciones entre elasticidades. La complementariedad entre capital y energía y la sustituibilidad entre energía y trabajo son consistentes en una economía (como la de Estados Unidos en ese tiempo) con mucho empleo y que cuenta con una recuperación de inversión.

Berndt y Wood en 1975, caracterizaron de una manera completa la industria manufacturera de Estados Unidos durante el periodo 1947-1971. Proveyeron las posibilidades de sustitución entre la energía y factores no energéticos. Su principal aportación fueron las posibilidades tecnológicas de sustitución entre energía y factores no energéticos.

Griffin y Gregory (1976) evalúan los resultados de Berndt y Wood (1975) y Hudson y Jorgenson (1974). Ofrecen una alternativa razonable a la literatura de series de tiempo en los temas de sustitución entre energía, trabajo y capital y las elasticidades de los precios. Están de acuerdo en que la elasticidad de sustitución entre energía y otros factores de producción no es cero. Concuerdan con Berndt y Wood (1975) en que la elasticidad de la demanda de energía es inelástica pero no es trivial y que la predicción de energía basada en el supuesto de una sustitución entre energía y factores no energéticos deben ser rechazados.

Rechazan los descubrimientos de Berndt y Wood (1975) y Hudson y Jorgenson (1974) de que la energía y el capital son bienes complementarios. Encontraron que son bienes sustitutos en el largo plazo. También hay diferencias entre las elasticidades encontradas por Berndt y Wood (1975) y por Hudson y Jorgenson (1974) y la de Griffin y Gregory (1976), pero todo es debido a una interpretación temporal sobre el corto y el largo plazo.

Los hallazgos sobre la separabilidad difieren con los de Berndt y Wood (1975), pero aceptan los supuestos de esta misma. Descubren además que su función de producción es una Cobb-Douglas de dos factores y no de tres, como antes se utilizaba en análisis como el de su trabajo.

### ■ *Evidencia empírica*

Los datos utilizados en este trabajo son de las siguientes fuentes: [www.sie.energia.gob.mx](http://www.sie.energia.gob.mx) (Sistema de Información Energética), [www.pemex.com](http://www.pemex.com) (Petróleos Mexicanos), [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx) (INEGI) y [www.bp.com](http://www.bp.com) (British Petroleum). El periodo considerado es el comprendido del año 1988 al 2011. El periodo de estudio se consideró tomando en cuenta la disponibilidad de los datos para las tres mezclas producidas de petróleo crudo en México.<sup>3</sup> Si bien la exportación, producción y precio de las mezclas Maya e

<sup>3</sup> Estudiamos las tres mezclas que se producen en México: Maya, Istmo y Olmeca. La mezcla Maya es un petróleo pesado con alto contenido de Azufre (3,3 %) y que representa generalmente alrededor del 60 % de la producción total de petróleo crudo en México. La mezcla Istmo es considerada un petróleo ligero y la mezcla Olmeca es considerada un petróleo súper ligero. Estos últimos presentan una menor cantidad de Azufre: 1,3 % y 0,8 % respectivamente (Instituto Mexicano del Petróleo) (2011).

Cuadro 1  
Clasificación de mezclas de petróleo

País	Mezcla	API	Tipo
Medio Oriente	Arabian Light	40°	Súper Ligero
Noruega	Brent	38°	Ligero
Asia	Dubai	31°	Mediano
E.U.A.	WTI	39°	Ligero
México	Maya	21.57°	Pesado
	Istmo	33.44°	Ligero
	Olmecca	38.30°	Súper Ligero

Fuente: INEGI.

Istmo se encuentra disponible antes de 1988, la mezcla Olmecca no aparece en las estadísticas oficiales sino hasta el año 1988.

Las variables utilizadas y disponibles en las fuentes de información son: producción de petróleo crudo, exportación de las mezclas de petróleo mexicano: Maya, Istmo y Olmecca y los precios de ellas. En el caso de las variables de precios internacionales y PIB de la economía mexicana se utilizaron datos del British Petroleum y del Banco Mundial.

En el caso de las mezclas extranjeras se eligieron el WTI<sup>4</sup> y BRENT,<sup>5</sup> que son consideradas como súper ligeras.

La diferenciación de las denominaciones pesado, ligero y súper ligero está en función de los grados API,<sup>6</sup> que miden los grados de la densidad del petróleo. A diferencia del agua, este indica qué tan pesado o ligero es el petróleo. A mayor número de API asignado, mayor calidad y valor de venta. El Cuadro No. [1] muestra la clasificación de las mezclas internacional y mexicanas por grado API y tipo de petróleo.

En este sentido, el precio de las mezclas mexicanas indica que cuanto mayores sean los grados API, mayor el precio. El petróleo de tipo súper ligero (grados API mayor que 39) es el más caro y el petróleo de tipo extrapesado (grados API de 10) es el más barato. Siendo entonces, en orden de grados API y precio de mayor a menor: Olmecca, Istmo y Maya.

Las unidades en las que se mide la producción y exportación de petróleo son millones de barriles al año. Los precios y el PIB de México están calculados en dólares año base 2004.

Las variables que utilizamos para el análisis de los datos fueron las siguientes:

- Precios de la mezclas Olmecca, Istmo, Maya, Mezcla Mexicana,<sup>7</sup> WTI, BRENT y

<sup>4</sup> Mezcla de E.U.A.

<sup>5</sup> Mezcla de Noruega.

<sup>6</sup> American Petroleum Institute.

<sup>7</sup> También considerada por el INEGI como precio promedio.

Precio Mundial del Petróleo.

- Producción de petróleo crudo.<sup>8</sup>
- Exportación de petróleo crudo<sup>9</sup> de las mezclas Olmeca, Istmo y Maya.
- Petróleo crudo en el Mercado Interno.
- PIB real de México a precios del 2004.

Para la utilización de los datos en el análisis se tomaron los logaritmos naturales de cada una de ellas.

### ■ *Análisis de precios y exportaciones*

La evolución del mercado mundial en la producción de petróleo crudo ha cambiado desde la década de 1970 con los booms petroleros. El Cuadro 2 presenta la producción de petróleo crudo de los principales productores en el mundo, de 1970 a 2010. La participación de China en los setenta era de 1 % y en el año 2010 participaba ya con el 5 % de la producción mundial. Así mismo, se observa que la producción de México aunque creciente en el mercado internacional, no ha sido superior al 4.6 % en el año 2000. Las tres economías que concentran la producción de petróleo crudo en el mundo son Estados Unidos, Arabia Saudita y Rusia, con más de  $\frac{1}{3}$  de la producción mundial en el año 2010.

La Figura 1 presenta los datos estructurales de mercado interno y exportación de la producción de las mezclas mexicanas. Se observa que México destina a exportación la mitad de la producción sin una variación importante en el tiempo. Por su parte, la Figura 3 presenta el precio de las mezclas mexicanas en el periodo 1988- 2011. Se puede observar que el precio de la mezcla Olmeca es el más alto, mientras que el precio de la mezcla Maya ha sido el más bajo a lo largo de casi todo el periodo.

La Figura 2 muestra la variación de las exportaciones de las mezclas mexicanas a lo largo del periodo. Como se puede observar, la mezcla que más se exporta es la Maya. Se puede ver que, al principio del periodo, las mezclas Istmo y Olmeca estaban en primer lugar el Istmo y más abajo el Olmeca. Sin embargo, para el periodo 1993- 1994 aumentó la exportación de la mezcla Olmeca y disminuyó la de Istmo. Así se ha mantenido el resto del periodo estudiado. Se puede decir que la exportación de la mezcla Istmo ha sido la más variable en el periodo.

<sup>8</sup> PEMEX e INEGI no presentan datos donde diferencien la producción entre mezclas, solo lo hacen en el caso de la exportación. El Instituto Mexicano del Petróleo (2011) menciona que la mezcla Maya abarca aproximadamente el 60% de la producción de petróleo crudo en México. Más evidencia de esto es que, en el año 2005, PEMEX lanzó un comunicado indicando su producción por mezclas indicando que el 72,99 % fue de la mezcla Maya, el 23,39 % de la mezcla Istmo y el 3,61 % de la mezcla Olmeca. Los porcentajes son: 54 % de la mezcla Maya, 33 % de la mezcla Istmo y el 13 % de la mezcla Olmeca. Es complicado encontrar datos para todo el periodo que se utilizó en nuestro estudio; se puede decir que la mezcla Maya es la que más se produce, en seguida la mezcla Istmo y por último la mezcla Olmeca.

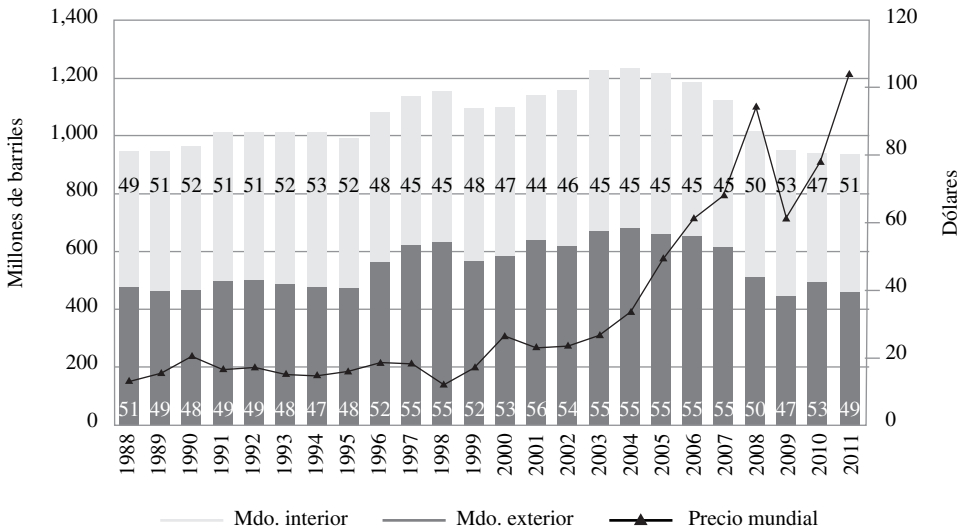
<sup>9</sup> Se consideran las tres mezclas mexicanas.

**Cuadro 2**  
**Producción Internacional de petróleo crudo 1970-2010 (porcentajes)**

País	1970	1980	1990	2000	2010
USA	23.5	16.2	13.6	10.3	9.1
Canadá	3.1	2.8	3	3.6	4
México	1	3.4	4.5	4.6	3.6
Venezuela	7.8	3.5	3.4	4.1	3.4
Irak	3.2	4.2	3.3	3.5	3
Irán	8	2.3	5	5.1	5.2
Arabia Saudita	8	16.3	10.9	12.6	12.1
Kuwait	6.3	2.8	1.5	3	3
China	1.3	3.4	4.2	4.3	4.9
Rusia	n/a	n/a	15.8	8.8	12.4
Emiratos Arabes	1.6	2.8	3.5	3.5	3.5
Nigeria	2.3	3.3	2.9	2.9	3

Fuente: Elaboración propia.

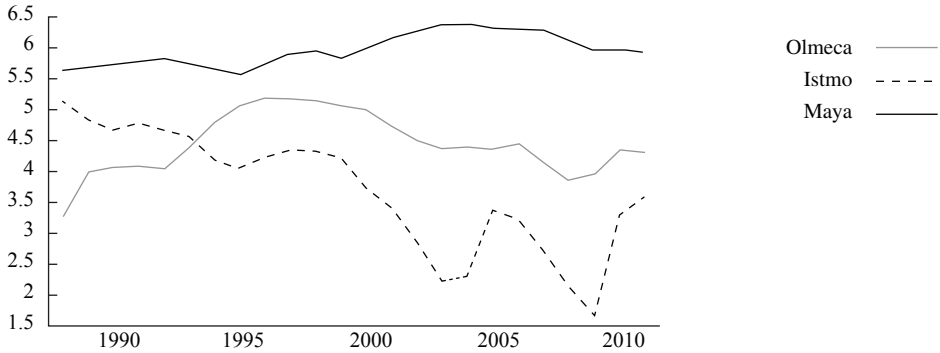
**Figura 1**  
**Producción de petróleo crudo de México, 1988-2011 (porcentajes)**



Fuente: Elaboración propia.



Figura 2  
Exportaciones de las mezclas de petróleo crudo en México

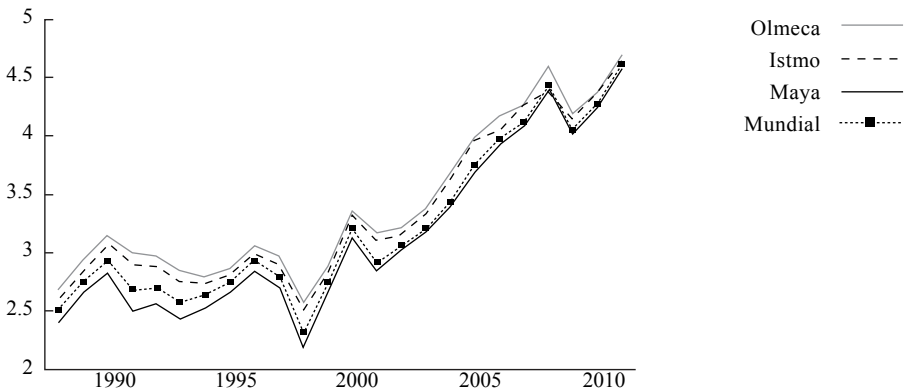


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al análisis del mercado exterior, se puede observar claramente en la Figura 2 que la mezcla Maya es la que destaca a nivel de exportaciones de las mezclas mexicanas de petróleo. El precio (aunque fluctuante) de la mezcla Maya es una relación  $\rho P Q \approx -1$ . Es decir, un aumento de precio de la mezcla disminuye la cantidad exportada de la mezcla y viceversa. Algo similar sucede con los precios, ya que muestran un patrón de orden durante casi todo el periodo que se estudia.

Como se puede ver en la Figura 3, el precio mundial se encuentra entre los precios de las mezclas mexicanas. Arriba del precio mundial se encuentra el precio de la mezcla

Figura 3  
Precios de las mezclas nacionales de petróleo crudo



Fuente: Elaboración propia.

Istmo y el de la mezcla Olmeca y por debajo el Maya. Los precios de la mezcla Istmo y Olmeca son muy similares, por lo que se optó por elegir el más elevado de ellos para el estudio.

Bajo el supuesto que los países exportadores de petróleo ofrecieran sus mezclas de petróleo al precio mundial, a los compradores les convendrá comprar más barato para tener más cantidad de petróleo y México ofrece una mezcla más barata que el precio mundial, que es el caso de la mezcla Maya. Las otras dos mezclas son más caras, sin embargo, podrían venderse a aquellos países con demanda de ese tipo de mezcla.

Se calcularon los coeficientes de correlación entre los precios y exportaciones de las mezclas nacionales. El Cuadro 3 presenta los estadísticos. La mayoría de las correlaciones es estadísticamente significativa.

Las correlaciones precio-cantidad exportada para las mezclas indican, en el caso de la mezcla Istmo, que  $\rho_{px} < 0$ , es decir, existe una relación inversa entre precio y cantidad de exportación de la mezcla. Es decir, cuando el precio de esta mezcla aumenta, la cantidad exportada disminuye. El coeficiente es negativo y estadísticamente significativo. En el caso de la mezcla Olmeca se observa que aunque el coeficiente de correlación es negativo, no es estadísticamente significativo. Finalmente, la mezcla Maya tiene un coeficiente positivo y estadísticamente significativo.

Cuadro 3  
Coeficientes de Correlación entre precio y exportación de  
las mezclas durante el periodo 1988-2011

Precio/Exportación	Olmeca	Istmo	Maya
Olmeca	-0.303751 p-value=0.1490	-0.706399 p-value=0.0001	0.558318 p-value=0.0046
Istmo	-0.287949 p-value=0.1724	-0.709824 p-value=0.0001	0.564433 p-value=0.0041
Maya	-0.271626 p-value=0.1992	-0.722174 p-value=0.0001	0.545979 p-value=0.0058

Fuente: Elaboración propia.

Como se pudo ver en la Figura 2, la mezcla del Istmo es la que menos se exporta de las tres. Con la evidencia obtenida de los coeficientes de correlación podemos ver que a cualquier precio de las tres mezclas la exportación tenderá a bajar. Caso contrario ocurre con la exportación de la mezcla Maya, ya que esta, sin importar el precio de la mezcla, tenderá a subir.

### ■ Ciclos económicos

Aunque la estimación de los ciclos económicos puede ser controversial, en la literatura existen debates sobre métodos estadísticos para descomponer las series temporales en fluctuaciones.

Existen ventajas relativas en algunas técnicas de filtros como Beveridge y Nelson (1981), Watson (1986), Hodrick y Prescott (1997) y Baxter y King (1995), pero no han sido establecidas del todo.<sup>10</sup> Aplicamos el filtro de Hodrick - Prescott (1997) como un método estándar para extraer la tendencia de las variables. Supone que las series de tiempo ( $y_t$ ) pueden ser descompuestas en su componente tendencial ( $g_t$ ) y su componente cíclico ( $c_t$ ):  $y_t = g_t + c_t$ . El suavizamiento de la serie viene determinado por la suma de cuadrados de las segundas diferencias de la tendencia, mientras que el componente cíclico recoge desviaciones cuyo promedio a largo plazo debe ser cero. El problema para determinar el componente de la tendencia viene dado por:

$$(1) \quad \min_{g_t} \left\{ \sum_{t=1}^T c_t^2 + \lambda \sum_{t=1}^T [(g_t - g_{t-1}) - (g_{t-1} - g_{t-2})]^2 \right\}$$

Donde el parámetro  $\lambda$  es un número positivo que penaliza la variabilidad del componente de tendencia de la serie. Mientras mayor sea  $\lambda$ , la solución de la tendencia será más suave y en el caso extremo en el que este parámetro tiende a infinito tendremos como solución una línea recta.

En el Cuadro 4 se muestran las correlaciones entre los ciclos de los precios y las variables. Las correlaciones entre los ciclos de los precios ( $p_i$ ) y las exportaciones ( $X_i$ ) son para cada una de las mezclas mexicanas,  $\rho_{p_i X_i}$  donde  $i$  es la mezcla respectiva,  $i =$  Olmeca, Istmo y Maya. Las correlaciones de los ciclos de los otros precios (Mezcla, Precio Mundial, WTI y Brent) y la exportación se realizaron con la exportación total de mezclas mexicanas, es decir, la suma de las tres. Las series no especifican los porcentajes de la producción total que corresponde a cada una de las mezclas. Los datos de exportación sí separan las cantidades de cada una de las mezclas; al sumar estos datos se obtiene la cantidad total exportada.

Podemos destacar que tres correlaciones son estadísticamente significativas al 5 %: (i) PIB – precio mundial, (ii) PIB - WTI y (iii) PIB– Brent con un coeficiente de correlación positivo, es decir, la relación es positiva y significativa entre ellas. Cuando au-

<sup>10</sup> Harvey y Jaeger (1993) criticaron filtros mecánicos, mostrando que el filtro Hodrick-Prescott (HP) puede inducir una ciclicidad espuria cuando se aplica a datos integrados. Guay y St.-Amant (1996) encontraron que el filtro HP y el filtro Baxter-King (BK) tienen un pobre desempeño al identificar el componente cíclico de las series que tienen un espectro con la forma característica de la mayoría de las series macroeconómicas. Baxter y King (1995) notaron que los filtros HP y BK se definen mal al principio y al final de las muestras. Singleton (1988) mostró que el filtro HP puede ser una buena aproximación a un filtro más elaborado cuando es aplicado a una serie estacionaria. Pederson (2001) mostró que el filtro HP con un parámetro de suavizamiento igual a 1600 crea pocas distorsiones en comparación con otros filtros.

Un problema importante es que la mayoría de las series macroeconómicas están integradas o persistentes en procesos, por lo que son caracterizadas mejor en pequeñas muestras como no estacionarias que si fueran procesos estacionarios. Cogley y Nason (1995a) argumentan que el filtro HP es equivalente a un filtro lineal de dos pasos que puede, en primer paso, diferenciar los datos para hacerlos estacionarios y después suavizar los datos con el filtro asimétrico resultante. Concluyen que el filtro puede generar ciclos económicos periódicos aunque ninguno esté presente en los datos Guay y St.-Amant (2005).

menta el PIB aumentan los precios internacionales y viceversa. Es posible que se deba a la relación estrecha que hay entre el mercado del petróleo con la economía mexicana, ya que al aumentar los precios del petróleo provoca que aumenten los precios de las mezclas mexicanas. Esto a su vez provoca un aumento de ingresos por parte de la venta de las mezclas y esto aumenta el PIB nacional consecuentemente.

Para el cálculo de las volatilidades utilizamos las desviaciones estándar de los ciclos de cada una de las variables. Utilizamos la volatilidad relativa, es decir, la razón de las

volatilidades de la variable X, respecto al PIB, es decir:  $\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ , siendo  $\sigma_y$  la desviación estándar del PIB. El Cuadro 5 muestra los resultados.

Cuadro 4  
Coeficientes de correlación de los ciclos económicos

	PIB	Producción	Exportación	Mdo.Interior
Precio Olmeca	0.3780 (0.0685)	0.1191 (0.5793)	-0.0698 (0.7456)	0.1817 (0.3954)
Precio Istmo	0.3347 (0.1099)	0.1353 (0.5284)	0.0614 (0.7756)	0.1711 (0.4240)
Precio Maya	0.2167 (0.3090)	-0.0148 (0.9451)	0.0347 (0.8720)	0.1092 (0.6114)
Precio Mezcla	0.2608 (0.2183)	0.0003 (0.9988)	0.0062 (0.9769)	0.1122 (0.6014)
Precio Mundial	0.4099 (0.0467)	0.0773 (0.7193)	0.0766 (0.7219)	0.1076 (0.6165)
Precio WTI	0.4221 (0.0399)	0.1480 (0.4900)	0.1245 (0.5619)	0.1564 (0.4653)
Precio Brent	0.4245 (0.0386)	0.1371 (0.5229)	0.1287 (0.5489)	0.1516 (0.4794)

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5  
Volatilidades de ciclos económicos

$\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$	PIB	Producción	Exportación	Mdo.Interior
Precio Olmeca	6.5865	4.4748	0.8345	5.4641
Precio Istmo	6.1466	4.1759	0.3685	5.0992
Precio Maya	6.8652	4.6641	1.7673	5.6953
Precio Mezcla	6.6546	4.5210	2.5829	5.5206
Precio Mundial	6.2566	4.2506	2.4284	5.1904
Precio WTI	6.5496	4.4497	2.5421	5.4335

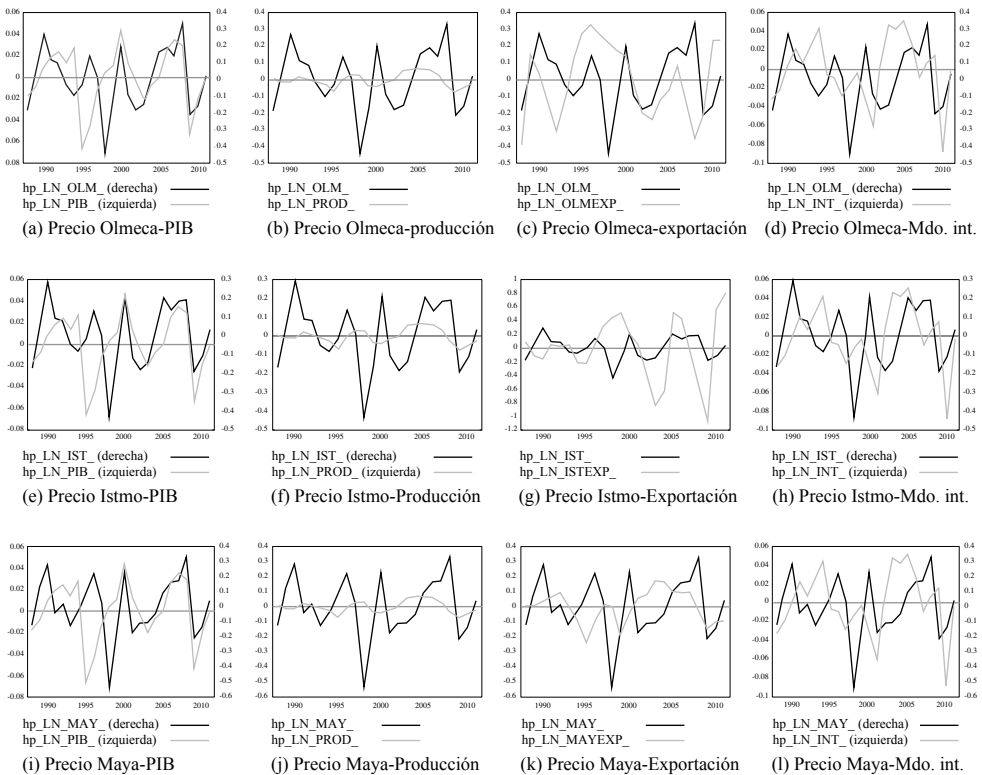
Precio Brent 6.8132 4.6288 2.6445 5.6523

Fuente: Elaboración propia.

Observamos que las volatilidades relativas de los precios son mayores que las demás variables. Se observa también que las volatilidades de los precios de las mezclas Olmeca e Istmo con respecto a las exportaciones son menores a la unidad. Una explicación probable es que, para estas dos variables, el precio ha sido más estable que la cantidad exportada en el periodo de estudio.

Las Figuras 4 y 5 muestran los ciclos de las variables. En cuanto a la relación entre los precios de las mezclas mexicanas y el PIB parece una relación acíclica, pues no hay evidencia de existencia de relación entre los ciclos de las variables. La información se presenta en el Cuadro 4. De acuerdo a la volatilidad de las variables, los precios son más volátiles que la producción de petróleo en México. Debido a la rigidez de la producción en el corto plazo, es posible que las volatilidades relativas sean altas respecto a las variables de precios. Este resultado no es sorprendente, ya que de acuerdo con

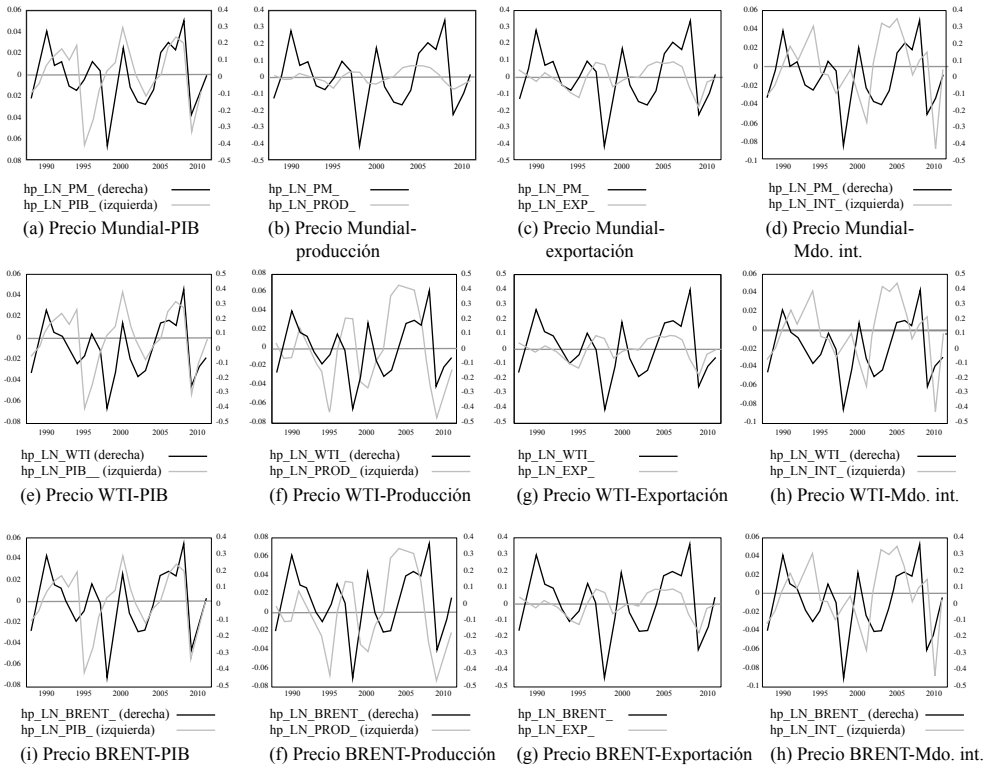
Figura 4  
Ciclo de los precios de mezclas mexicanas, mercado interior y exterior



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5

Ciclo de los precios de mezclas internacionales, PIB mercado interior y exterior



Fuente: Elaboración propia.

el Cuadro 5, los precios son más volátiles que el producto y las variables reales de la economía.

Respecto al Precio Mundial del crudo y su relación con las variables de producción (ver Cuadro 4) observamos que el PIB y el Precio Mundial del petróleo son procíclicos y es la única relación estadísticamente significativa. En el caso de las tres variables restantes (Exportación, Mercado Interno y Producción), además de ser acíclicos,  $\rho_{xy} \approx 0$ , no son estadísticamente significativos.

En el caso del WTI, los resultados son similares a los del Precio Mundial. Finalmente, el precio del Brent, también coincide con los resultados del Precio Mundial y del WTI.

■ *Modelo*

Dadas las características del petróleo en el mercado mexicano, utilizamos el modelo de Fischer y Laxminarayan (2004). A continuación se desarrolla el modelo propuesto que representa el ambiente de un monopolio que produce un recurso no renovable que enfrenta dos mercados. En este trabajo suponemos que un mercado es nacional (mercado interno) y el segundo es el mercado internacional.

Proponemos una extensión a algunos de los supuestos y proposiciones del modelo y observamos las diferencias en particular en el caso de la economía mexicana.

Las variables a considerar en el modelo son:

- $e^{-rt}$  es la tasa de descuento para cada periodo  $t$ .
- $q_t^i$   $i = A, B$  es la cantidad del recurso para cada mercado (A o B) en cada periodo  $t$ .
- $P_i$   $i = A, B$  es el precio del recurso para cada mercado.
- $K_0$  es la cantidad total del recurso.

Sea  $S$  el óptimo social y  $M$  la solución del monopolista. Se considera un único recurso no renovable que es vendido a dos mercados por separado con dos diferentes elasticidades de demanda. Llamamos a los mercados A y B. El stock total del recurso disponible es  $K_0$ . Los supuestos del modelo son los siguientes:

1. No hay costo de extracción del recurso, solamente el valor de escasez.
2. La elasticidad de demanda en cada mercado es constante y mayor que 1.
3. No hay posibilidad de arbitraje entre mercados. Además, el monopolista no puede realizar discriminación de precios entre mercados.

### *Problema del Planificador Central*

El Planificador Central (PC) para esta economía maximiza la utilidad de la economía de acuerdo a:

$$(2) \quad U^S = \int_{t=0}^{\infty} e^{-rt} \left( \int_{s=0}^{q_t^A} P_A(s) ds + \int_{s=0}^{q_t^B} P_B(s) ds \right) dt - \lambda \left( \int_{t=0}^{\infty} (q_t^A + q_t^B) dt - K_0 \right)$$

Una vez obtenidas las condiciones de primer orden, el resultado<sup>11</sup> es que los precios

<sup>11</sup>

$$U^S = e^{-rt} [q_t^A P_A + q_t^B P_B] - \lambda [q_t^A + q_t^B - K_0]$$

$$s : q_t^A > 0, q_t^B > 0$$

$$\frac{\delta U}{\delta q^A} = e^{-rt} P_A - \lambda = 0$$

$$\frac{\delta U}{\delta q^B} = e^{-rt} P_B - \lambda = 0$$

$$P_A(q_t^A) = \lambda e^{rt}$$

$$P_B(q_t^B) = \lambda e^{rt}$$

de cada mercado en todo periodo  $t$  son los mismos:

$$(3) \quad P_A(q_i^{A,S}) = P_B(q_i^{B,S}) \forall t = [0, \infty]$$

El precio aumenta dependiendo de la tasa de depreciación

$$P_i(q_i^{i,S}) = e^{rt} P_i(q_i^{i,0})$$

y la función de precios está dada por:

$$P_i(q) = \left( \frac{q}{\mu_i} \right)^{\frac{-1}{\eta_i}}$$

La cantidad total del recurso se representa en la función  $q$  se divide entre los dos mercados.  $\mu_i$  determina el tamaño del mercado y  $\eta_i$  es la elasticidad del mercado. El resultado de la razón  $\frac{q}{\mu_i}$  determina la cantidad del recurso de los dos mercados.  $\eta_B > \eta_A$ .

Si  $P \rightarrow \infty, q \rightarrow 0$ .

### *Problema del monopolista*

El monopolista maximizará sus ganancias restringido por la disponibilidad del recurso de acuerdo a la siguiente función:

$$(4) \quad U^M = \int_{t=0}^{\infty} e^{-rt} (P_A(q_i^A)q_i^A + P_B(q_i^B)q_i^B) dt - \lambda \left( \int_{t=0}^{\infty} (q_i^A + q_i^B) dt - K_0 \right)$$

El ingreso marginal de los  $i$ -mercados, ( $MR_i(q^i)$ ) con  $i = A, B$  se define por:

$$(5) \quad \begin{aligned} MR_i(q^i) &= P_i'(q^i) + P_i(q^i) \\ &= \frac{-1}{\eta_i} \left( \frac{q_i}{\mu_i} \right)^{\frac{-1}{\eta_i} - 1} \frac{q_i}{\mu_i} + \left( \frac{q_i}{\mu_i} \right)^{\frac{-1}{\eta_i}} \\ &= \frac{-1}{\eta_i} \left( \frac{q_i}{\mu_i} \right)^{\frac{-1}{\eta_i}} + \left( \frac{q_i}{\mu_i} \right)^{\frac{-1}{\eta_i}} \\ &= \left( \frac{q_i}{\mu_i} \right)^{\frac{-1}{\eta_i}} + \left[ \frac{\eta_i - 1}{\eta_i} \right] \end{aligned}$$

---


$$P_A(q_i^A) = P_B(q_i^B)$$



$$MR_i(q^i) = P_i \left[ \frac{\eta_i - 1}{\eta_i} \right]$$

$$P_i(q_i^{i,M}) = e^{rt} P_i(q_0^{i,M}) \quad i = A, B$$

Sustituyendo la función de demanda (que es igual a la del planificador social) en CNPO:<sup>12</sup>

$$\begin{aligned} P_A(q_t^A) &= \left( \frac{q_t^A}{\mu_A} \right)^{\frac{-1}{\eta_A}} \\ q_t^A &= \mu_A P_A^{-\eta_A} \\ &= \mu_A [e^{rt} P_A(q_0^A)]^{-\eta_A} \\ &= \mu_A \left[ e^{rt} \left( \frac{q_0^A}{\mu_A} \right)^{\frac{-1}{\eta_A}} \right]^{-\eta_A} \\ &= e^{-\eta_A r t} q_0^A \end{aligned}$$

con resultados análogos para B:

$$e^{-\eta_B r t} q_0^B = q_t^B$$

De acuerdo al resultado podemos observar que el resultado es el mismo en ambos mercados.  $e^{-\eta^i r t} q_0^i = q_t^i$  con  $i = A, B$ .

Utilizando las CNPO y la ecuación número (5) la solución del precio del mercado de B es:

$$\begin{aligned} P_A \left[ \frac{\eta_A - 1}{\eta_A} \right] &= \lambda e^{rt} = P_B \left[ \frac{\eta_B - 1}{\eta_B} \right] \\ (6) \quad P_B &= \left[ \frac{\eta_B}{\eta_B - 1} \right] P_A \left[ \frac{\eta_A - 1}{\eta_A} \right] \end{aligned}$$

De los resultados obtenidos, se tienen los siguientes:

**Proposición 1.** Cuando los supuestos 1 a 3 se cumplen, el monopolista aumenta el precio del bien en el mercado que presenta una demanda relativamente más inelástica y lo

<sup>12</sup> Condiciones Necesarias de Primer Orden (CNPO)

$$\begin{aligned} \frac{\delta U}{\delta q^A} &= e^{-rt} \left[ \underbrace{P'_A(q^A) + P_A(q^A)}_{MR_A(q^A)} \right] = \lambda \\ \frac{\delta U}{\delta q^B} &= e^{-rt} \left[ \underbrace{P'_B(q^B) + P_B(q^B)}_{MR_B(q^B)} \right] = \lambda \end{aligned}$$

baja en el mercado que presenta una demanda relativamente más elástica comparado con el precio del Planificador Central.<sup>13</sup>

**Corolario 1.** *Los consumidores del mercado que presenta una demanda relativamente más inelástica obtienen menos del recurso a lo largo del periodo y siempre con la provisión monopolística. Mientras que los consumidores que se encuentran en el mercado que tiene una demanda relativamente más elástica obtienen más del recurso a través del tiempo.*<sup>14</sup>

**Corolario 2.** *Comparado con el óptimo social, la economía que está bajo la demanda relativamente más elástica está mejor bajo la provisión monopolística. Mientras que la economía bajo la demanda relativamente más inelástica está mejor bajo el óptimo social.*

Para determinar el comportamiento de la extracción del recurso a través del tiempo, resolvemos la siguiente integral:

$$\int_{t=0}^{\infty} e^{-\eta t q_0^{i,M}} dt$$

Siendo el resultado:

$$(7) \quad q_t^{i,M} = \frac{q_0^{i,M}}{\eta_i r}$$

Las ecuaciones (7) y (8)<sup>15</sup> coinciden, ya que son resultados de la misma integral pero corresponden a modelos de mercados diferentes.

Utilizando la ecuación (6) y la restricción del recurso planteamos:

$$\left(\frac{q_t^B}{\mu_B}\right)^{-\frac{1}{\eta_B}} = \left[\frac{\eta_B}{\eta_B - 1}\right] \left[\frac{\eta_A - 1}{\eta_A}\right] \left(\frac{q_t^A}{\mu_A}\right)^{-\frac{1}{\eta_A}}$$

$$q_t^B = \mu_B \left\{ \frac{\eta_B}{\eta_B - 1} \left[ \frac{\eta_A - 1}{\eta_A} \right] \right\}^{-\eta_B} \left(\frac{q_t^A}{\mu_A}\right)^{\frac{\eta_B}{\eta_A}}$$

<sup>13</sup> Demostración: Se suponen las siguientes elasticidades:  $B > A > 1$ . Se encuentra que el precio del mercado B es más pequeño que el del mercado A. Si se vuelve a suponer que el precio de A es igual al del Planificador Central, con el paso del tiempo se va a extraer más del recurso en el mercado B que en el mercado A. La restricción de recursos no se cumple por tanto.

<sup>14</sup> Demostración: De los resultados de la proposición anterior, el precio de A es mayor al del planificador social. Por lo que la cantidad de A es menor a la del Planificador Central. El precio de B es menor al del planificador social, por lo que la cantidad es mayor que la del Planificador Central. En resumen, la cantidad de A es menor a la de B.

<sup>15</sup> (8) 
$$q_t^{i,S} = \frac{q_0^{i,S}}{\eta_i r}$$

$$K_0 = \mu_B \left\{ \frac{\eta_B}{\eta_B - 1} \left[ \frac{\eta_A - 1}{\eta_A} \right] \right\}^{-\eta_B} \left( \frac{q_t^A}{\mu_A} \right)^{\frac{\eta_B}{\eta_A}} + \frac{q^A}{\eta_A r}$$

**Proposición 2.** *Cuando los supuestos 1 a 3 se cumplen, la extracción total del monopolista es mayor a la del Planificador Central en el periodo inicial.*

**Corolario 3.** *El monopolista sigue un plan de extracción más rápido que el del Planificador Central.*

Esta condición se cumple inicialmente debido a que el monopolista tendrá un comportamiento conservador con respecto al Planificador Central. De existir una extracción a una tasa mayor, se viola la restricción del stock inicial. Adicionalmente, la extracción del monopolista, es menor que la del Planificador Central.

### *Extensiones del modelo*

En el modelo original de Fischer y Laxminarayan (2004) se considera un solo bien, con dos mercados y dos precios. De acuerdo a la evidencia empírica que se encontró para el caso de México, extendemos el modelo de Fischer y Laxminarayan (2004) más acorde con los datos de la economía mexicana. Debido a la extensión del modelo, se ajusta a nuestros datos y se toma en cuenta solo un corolario y una proposición.

Se consideran tres tipos del bien: mezclas Olmeca, Istmo y Maya. Las variables consideradas son precio y cantidades para el mercado nacional y el mercado internacional. Los precios de cada una de las mezclas se definen como:  $P_{olm}$ ,  $P_{ist}$  y  $P_{may}$ . Se supondrá que el precio al que se vende en el mercado interno es el precio mundial que queda definido como:  $P_{mun}$ .

La cantidad total de petróleo producida en México queda definida de la siguiente manera:

$$(9) \quad q_t^{total} = Aq_t^{total} + Bq_t^{total} + Cq_t^{total}$$

Los parámetros A, B y C son definidos como las proporciones de la producción total de petróleo que corresponden a cada mezcla que produce PEMEX. A es la proporción para la mezcla Olmeca, B para la mezcla Istmo y C para la mezcla Maya. Los valores de las proporciones son:  $C > ,50$  y  $A, B < 0,5$ , con la identidad:  $A + B + C = 1$ . De esta forma, las mezclas quedan definidas de la siguiente manera:

$$(10) \quad q_t^{olmeca} = Aq_t^{total}$$

$$(11) \quad q_t^{istmo} = Bq_t^{total}$$

$$(12) \quad q_t^{maya} = Cq_t^{total}$$

Se consideran proporciones de cada una de las mezclas que determinan qué cantidades de las mezclas se destinarán a cada uno de los mercados. Las proporciones están definidas como:  $\alpha$  la proporción de la mezcla Olmeca,  $\beta$  la proporción de la mezcla Istmo y  $\sigma$  la proporción de la mezcla Maya.

Por lo que, ahora, la cantidad de cada una de las mezclas quedará definida de la siguiente manera:

$$(13) \quad q_t^{olmeca} = \alpha(q_t^{olmeca}) + (1 - \alpha)q_t^{olmeca}$$

$$(14) \quad q_t^{istmo} = \beta(q_t^{istmo}) + (1 - \beta)q_t^{istmo}$$

$$(15) \quad q_t^{maya} = \sigma(q_t^{maya}) + (1 - \sigma)q_t^{maya}$$

La primera parte de las identidades corresponde a la proporción de la mezcla que se queda en el mercado interno. La segunda parte corresponde a la proporción de la mezcla que se vende

al mercado externo. Las siguientes identidades definen el mercado interno y el mercado externo:

$$(16) \quad q_t^I = \alpha(q_t^{olmeca}) + \beta(q_t^{istmo}) + \sigma(q_t^{maya})$$

$$(17) \quad q_t^E = (1 - \alpha)q_t^{olmeca} + (1 - \beta)q_t^{istmo} + (1 - \sigma)q_t^{maya}$$

En todo momento se cumple la restricción del recurso natural.  $K_0 = q_t^I + q_t^E$

Para simplificar la notación se definirán las cantidades de cada una de las mezclas, dependiendo del mercado:  $q_t^{i,j}$  donde  $i = I, E$  y  $j = Olmeca, Istmo$  y  $Maya$ .

El modelo de Fischer y Laxminarayan (2004) resuelve el problema del Planificador Central y del monopolista. De acuerdo a las nuevas variables que se han presentado, se pueden modificar las ecuaciones del modelo original (2) y (4), resultando las siguientes:

$$(18) \quad U^S = \int_{t=0}^{\infty} \left( \int_{t=0}^{q_t^{O,I}} P_{mun}(s) ds + \int_{t=0}^{q_t^{I,I}} P_{mun}(s) ds + \int_{t=0}^{q_t^{M,I}} P_{mun}(s) ds \right) dt \\ + \int_{t=0}^{\infty} \left( \int_{t=0}^{q_t^{O,E}} P_{olm}(s) ds + \int_{t=0}^{q_t^{I,E}} P_{ist}(s) ds + \int_{t=0}^{q_t^{M,E}} P_{may}(s) ds \right) dt - \lambda \left( \int_{t=0}^{\infty} (q_t^I + q_t^E) dt - K_0 \right)$$

$$(19) \quad U^M = \int_{t=0}^{\infty} \left( P_{mun}(q_t^{O,I})q_t^{O,I} + P_{mun}(q_t^{I,I})q_t^{I,I} + P_{mun}(q_t^{M,I})q_t^{M,I} \right) dt \\ + \int_{t=0}^{\infty} \left( P_{olm}(q_t^{O,E})q_t^{O,E} + P_{ist}(q_t^{I,E})q_t^{I,E} + P_{may}(q_t^{M,E})q_t^{M,E} \right) dt - \lambda \left( \int_{t=0}^{\infty} (q_t^I + q_t^E) dt - K_0 \right)$$

En la siguiente sección se analizan las implicaciones del modelo de acuerdo a los resultados con tres bienes y dos mercados.

■ *Elasticidades*

El modelo de Fischer y Laxminarayan (2004) se centra en las proposiciones y corolarios, haciendo hincapié en la elasticidad de los mercados. Por ello, es de particular interés estimar la sensibilidad de cambios en las variables relevantes. Por esa razón estudiamos las elasticidades para verificar si el modelo extendido de Fischer y Laxminarayan (2004) aplica o no a las condiciones de la economía mexicana.

Se estimaron las elasticidades de los dos modelos que hemos propuesto: el mercado nacional y el mercado internacional.

El mercado internacional está representado por las exportaciones de las tres mezclas mexicanas y el mercado nacional está representado por el mercado interno. Tomamos en cuenta las cantidades de exportación de cada una de las mezclas y la producción de cada una de ellas.<sup>16</sup> Las tres mezclas aportan a los dos mercados, sin embargo, la mezcla Istmo aporta más al mercado interno, mientras que las mezclas Olmeca y Maya al mercado externo.

Utilizamos el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) para calcular las elasticidades que se muestran en el Cuadro 6.

Para determinar las elasticidades precio de la demanda y las elasticidades cruzadas precio de la demanda utilizamos las siguientes ecuaciones:

Para las elasticidades precio de la demanda:

$$(20) \quad \log Q_i = \alpha + \beta \log P_i + \epsilon_i$$

$$(21) \quad \log P_i = \delta + p \log Q_i + \epsilon_i$$

y para las elasticidades cruzadas precio/cantidad:

$$(22) \quad \log Q_i = \eta + k \log Q_j + \epsilon_i$$

$i \neq j$  y

$$(23) \quad \log P_i = \tilde{\eta} + \tilde{k} \log P_j + \epsilon_i$$

$i \neq j$

<sup>16</sup> Aquí utilizamos los porcentajes: 60 % para la mezcla Maya, 30 % para la mezcla Istmo y 10 % para la mezcla Olmeca. Cabe resaltar que utilizamos estos porcentajes teniendo margen de error, ya que en realidad no son los mismos porcentajes para todo el periodo que utilizamos para el estudio. La falta de datos impide conseguir los porcentajes para todo el periodo.

$i$  representa las mezclas mexicanas y el mercado interior. Los valores de las elasticidades se determinaron por los valores estimados de  $\beta$ ,  $\rho$ ,  $k$  y  $\bar{k}$  respectivamente.  $\epsilon_i$  es el error aleatorio.

### Resultados

De los resultados de las elasticidades precio presentadas en el Cuadro 6, observamos las elasticidades de la demanda de las mezclas mexicanas con los siguientes coeficientes:  $E_{QP}^M = 0,218$ ,  $E_{QP}^I = -1,277$  y  $E_{QP}^O = -0,255$ . La mezcla Maya es la más elástica, mientras que la menos elástica es la mezcla Istmo. En cuanto a la mezcla Olmeca es inelástica, pero menos que la mezcla Istmo.

Cuadro 6  
Elasticidades de las mezclas mexicanas

Elasticidades de la demanda				
$E_{QP}$	P. Olmeca	P. Istmo	P. Maya	PM
Istmo	-1.05355	-1.2768	-0.982308	-1.02945
Olmeca	-0.2547	0.217019	-0.186569	-0.205019
Mdo. int.	-0.0163549	-0.0164242	-0.0158219	-0.0161796
Maya	0.218365	0.220916	0.2428	0.214278
Elasticidades - precio de la demanda				
$E_{PQ}$	Mdo. int	Istmo	Olmeca	Maya
P. Olmeca	-2.34274	-0.473637	-0.3716	1.42751
P. Istmo	-2.34783	-0.4694	-0.382063	1.44211
P. Maya	-2.72312	-0.530929	-0.395461	1.5613
PM	-2.47656	-0.494841	-0.386483	1.49777
Elasticidades cruzadas de las demandas				
$E_{QQ}$	Olmeca	Istmo	Maya	Mdo. int.
Olmeca	X	0.0455624	-0.00731975	3.39153
Istmo	0.178682	X	-2.92329	-4.78534
Maya	-0.00197407	-0.201032	X	2.01372
Mdo. int.	0.0417686	-0.0150277	0.919572	X
Elasticidades cruzadas de los precios de la demanda				
$E_{PP}$	Olmeca	Istmo	Maya	PM
Olmeca	X	0.998822	0.906869	0.965216
Istmo	0.997379	X	0.906635	0.963427
Maya	1.09029	1.09159	X	1.05577
PM	1.03204	1.03161	0.938949	X
Sustitución o complementariedad entre mezclas				

	Olmeca	Istmo	Maya	Mdo. int
Olmeca	X	Bien sust.	Bien comp.	Bien sust.
Istmo	Bien sust.	X	Bien comp.	Bien comp.
Maya	Bien comp.	Bien comp.	X	Bien sust.
Mdo. int	Bien sust.	Bien comp.	Bien sust.	X

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados implican que la mezcla Maya, ante un aumento de su precio, aumenta la cantidad exportada. Para las mezclas Istmo y Olmeca, al ser inelásticas, un aumento positivo en los precios disminuye la cantidad exportada. Este resultado se relaciona con la competitividad de la mezcla maya.

Probablemente existe un problema de endogeneidad en las estimaciones debido a la omisión de variables no observadas, sesgo por causalidad simultánea y/o sesgo por errores en las variables.

Al estimar los primeros modelos, procedemos a utilizar otros métodos para fortalecer la robustez de los resultados para resolver un posible problema de endogeneidad entre el precio y la cantidad. En particular en México, al ser un productor de petróleo, cambios en los precios internacionales del petróleo podrían afectar la demanda internacional de petróleo mexicano.

Para verificar la endogeneidad del precio en nuestro modelo se procedió a realizar un modelo de mínimos cuadrados ordinarios en dos etapas (M2LS) y utilizar variables instrumentales. Utilizamos como variables instrumentales el precio Brent, el PIB petrolero y el tipo de cambio. Llevamos a cabo tres pruebas de especificación: (i) Hausman para determinar la correlación con entre los errores del modelo y las variables independientes, (ii) prueba de sobreidentificación de Sargan y (iii) el contraste de instrumentos débiles.

Aplicamos el modelo de M2LS utilizando como instrumentos los logaritmos de la producción total del petróleo crudo, el tipo de cambio y el precio BRENT. Los resultados nos indican que las estimaciones de los los modelos de MCO, ecuaciones [20] a [23] son eficientes, es decir  $Cov(x_i, \epsilon_i) \neq 0$ .

Para verificar la endogeneidad del precio en nuestro modelo, se procedió a realizar la prueba de Hausman para verificar si existen diferencias sistemáticas o no en ambas regresiones: MCO y M2LS. Los resultados se muestran en el Cuadro 7.

Los resultados muestran que no se puede rechazar la hipótesis nula, aceptando que no existen diferencias sistemáticas en los coeficientes entre ambos modelos, dejando en evidencia que no existe el problema de endogeneidad para el precio de las mezclas en el caso de México, lo que corrobora los comentarios respecto a que el tamaño del mercado mexicano es más pequeño que el internacional y, por ende, no influye en su comportamiento. Dado esto, se consideran los resultados de MCO como eficientes.

De los resultados de las elasticidades concluimos que el Corolario 1 del modelo de Fischer y Laxminayaran (2004) también aplica para la economía mexicana, caracterizada por tres bienes y dos mercados.

Con respecto a la sustitución y/o complementariedad entre las mezclas, las elasticidades

**Cuadro 7**  
Elasticidades de las mezclas mexicanas: MCO y M2LS. Valor p entre paréntesis

Elasticidades de la demanda					
Mezcla	MCO		M2LS		
	Elasticidad	R <sup>2</sup>	Elasticidad	R <sup>2</sup>	Estadístico de Hausman
Olmeca	-0.2547 (0.2112)	0.0946	-0.2578 (0.1848)	0.094	0.322 (0.5701)
Istmo	-1.2768 (0.0000)	0.5994	-1.27714 (0.0000)	0.5994	0.0002 (0.9867)
Maya	0.2428 (0.0065)	0.3791	0.2463 (0.0003)	0.3791	0.297976 (0.5851)

Elasticidad - precio de la demanda					
Mezcla	MCO		M2LS		
	Elasticidad	R <sup>2</sup>	Elasticidad	R <sup>2</sup>	Estadístico de Hausman
P. Olmeca	-0.3716 (0.1532)	0.0946	-0.5843 (0.0662)	0.0946	1.5126 (0.2187)
P. Istmo	-0.4694 (0.000057)	0.5994	-0.6248 (0.000000)	0.5994	21.6397 (0.000003)
P. Maya	1.56134 (0.0010)	0.3791	1.7193 (0.0002)	0.3791	1.5967 (0.2063)

Fuente: Elaboración propia.

dades presentadas en el Cuadro 6 nos permiten analizar la relación entre las mezclas. Dos bienes  $x$  y  $y$  son sustitutos si  $E_{xy} > 0$  y complementarios si  $E_{xy} < 0$ . Los resultados se presentan en el Cuadro 6. Los resultados indican que las mezclas Istmo y Maya tienen una relación sustituta y dos son complementarias. Mientras que las mezclas Olmeca y la del Mercado Interno tienen una relación de complementariedad y dos son sustitutas. Por ello, no hay evidencia para señalar a alguna de las mezclas como la más competitiva en el sentido que sea sustituta de las demás mezclas.

El Cuadro 6 muestra también las elasticidades de la variación de las cantidades exportadas de una mezcla en respuesta a un aumento de otra mezcla exportada. Los resultados más relevantes se enuncian a continuación:

1. Un aumento en la cantidad exportada de la mezcla Maya disminuye la cantidad exportada de las mezclas Istmo y Olmeca y además la cantidad de mezcla que se queda en el mercado interior aumenta.
2. Un cambio positivo en las exportaciones de la mezcla Olmeca aumenta la exportación de la mezcla Istmo y la cantidad del mercado interno. La cantidad exportada de la mezcla Maya disminuye.
3. Al aumentar la cantidad exportada de la mezcla Istmo, las cantidades exportadas de la mezcla Olmeca también aumentan mientras que disminuye la de la mezcla Maya.



4. Las elasticidades son cercanas a la unidad entre las mezclas, esto es, el precio de la mezcla Maya experimenta un mayor cambio positivo ante un cambio de las demás mezclas.
5. Los precios de las mezclas Olmeca e Istmo aumentan menos ante un cambio en la Mezcla Maya que ante un cambio en el precio mundial o los precios de la mezcla Istmo u Olmeca, según sea el caso.

La Proposición 1 del modelo de Fischer y Laxminarayan (2004) establece que “*el precio del petróleo es mayor en el mercado más inelástico*”. En el caso de la economía mexicana es el mercado interno. El precio es más bajo para el mercado más elástico, que es el mercado internacional. Esto se puede demostrar con los precios de las mezclas y el precio mundial. Los precios de las mezclas Istmo y Olmeca y el precio mundial son más altos que el precio de la mezcla Maya.

Los resultados anteriores reafirman la competitividad de la mezcla Maya, ya que al ser sustituto de las mezclas Istmo y Olmeca, cuando estas experimentan un aumento de precio, los mercados interno y externo preferirán comprar la mezcla Maya al ser la de menor precio.

#### ■ Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue explicar el comportamiento del monopolio que extrae un recurso no renovable frente a dos mercados: nacional e internacional.

Extendimos el modelo de Fischer y Laxminarayan (2004) para explicar el comportamiento del monopolio de un recurso natural no renovable que sirve de base para ver si se replica al caso mexicano. Las modificaciones más importantes para la economía mexicana se refieren a la diferenciación de los bienes que cualitativa y cuantitativamente son tres en el caso de la economía mexicana.

Utilizamos la metodología de ciclos económicos y las elasticidades precio y cruzadas de la demanda para estudiar la sensibilidad de los mercados interno y externo comparando los resultados de la evidencia empírica con las proposiciones y los corolarios que proponen Fischer y Laxminarayan (2004).

Los principales resultados a los que llegamos son:

1. La mezcla mexicana de petróleo más competitiva es la Maya al ser la más barata, la que más se produce y la que más se exporta.
2. Las elasticidades de las mezclas Istmo y Olmeca son las más inelásticas, por lo que un aumento en el precio de estas mezclas disminuye su cantidad exportada. La mezcla Maya tiene una elasticidad mayor, por lo que si hay un aumento en su precio, su cantidad exportada también experimenta un aumento.
3. Las mezclas son complementarias y sustitutas entre ellas en casos específicos.
4. El Corolario 1 y la Proposición 1 del modelo de Fischer y Laxminarayan (2004) se replican en el caso de la economía mexicana.

Los resultados de este trabajo tienen implicaciones en las estructuras de mercado que enfrenta PEMEX a nivel nacional e internacional. En México, PEMEX es un monopolio, mientras que en el mercado internacional es un mercado competitivo. La relevancia de los resultados de este trabajo, acordes con Fischer y Laxminayaran (2004) y la extensión que realizamos de este, son compatibles con los modelos y estructuras de los mercados nacional e internacional.

El Corolario 1 y la Proposición 1 del modelo tienen como resultado que el precio del petróleo es mayor en el mercado más inelástico (mercado interno) y el precio más bajo en el mercado más elástico (mercado internacional).

La creación y aplicación de políticas públicas requieren de información detallada y específica para lograr impactos. Las implicaciones de política pública energética de los resultados de las estimaciones de la elasticidad y del modelo son importantes para el diseño de estas. Con el fin de aprovechar las características de la mezcla Maya (competitividad y elasticidad) se podría imputar un impuesto a esta para aumentar la recaudación sin afectar la producción y la competitividad internacional de la mezcla. Por otra parte, las mezclas Istmo y Olmeca podrían recibir subsidios para aumentar su exportación bajando su precio en el mercado. En caso de igualar los precios de las tres mezclas, la exportación estaría “garantizada” al ser mezclas complementarias.

Un tema presente y futuro prioritario al respecto es el diseño de mecanismos que permitan el aprovechamiento económico de las mezclas mexicanas sin agotar el recurso. Si bien es cierto que habría que analizar los yacimientos actuales y futuros del petróleo en México, independientemente de las mezclas, las preguntas que surgen de los resultados de este trabajo se relacionan con el presente y futuro del sector energético en México: ¿Cómo maximizar el ingreso petrolero y minimizar la explotación de los yacimientos? ¿Cómo aumentar la competitividad de las mezclas mexicanas de petróleo crudo en el mercado interior y exterior? ¿Qué tipo de impuesto o subsidio compensatorio entre mezclas sería factible? ¿Cómo cambiaría la recién aprobada reforma energética en México la estructura de mercado nacional y la competencia de los productos energéticos nacionales?. Las preguntas anteriores son cruciales en el desarrollo del sector energético en México y requieren análisis y elaboración de políticas públicas acorde con la reforma energética recién aprobada en el país.

## ■ Bibliografía

- Álvarez de la Borda, Joel (2006). “Crónica del petróleo en México: De 1863 a nuestros días”. *Petróleos Mexicanos*, 1a Ed. México.
- Berndt, Ernest R. y Wood, David O. (1979). “Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementarity”. *American Economic Review*, Jun. 69, 342-354.
- Berndt, Ernest R. y Wood, David O. (1975). “Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy”. *Review of Economics and Statistics*. Aug. 57, 259-268.

- Boulding, K. E. (1945). "In Defense of Monopoly" *Quarterly Journal of Economics*, Aug. 59, 4, 524-542.
- British Petroleum (2013). *Statistical Review of World Energy*. June.
- Fischer, Carolyn y Laxminarayan, Ramanan (2004). "Monopoly extraction of an Exhaustible Resource with two Markets". *Canadian Journal of Economics*, Feb. 17, 178-188.
- Griffin, James M. y Gregory, Paul R. (1976). "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses". *American Economic Review*, Dec. 66, 845-857.
- Guay, Alain y St.-Amant, Pierre (2005). "Do the Hodrick-Prescott and Baxter-King Filters Provide a Good Approximation of Business Cycles?". *Annals of Economics and Statistics*, Mar. 77, 133-155.
- Harvey, A. C. y Jaeger, A. (1993). "Detrending, Stylized Facts and the Business Cycle". *Journal of Applied Economics*, Jul.-Sep. 3, 231-247.
- Hodrick, R. J. y E. C. Prescott (1997). *Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation*. *Journal of Money, Credit & Banking*, Vol. 29.
- Hudson, E. A. y Jorgenson, D. W. (1974). US Energy Policy and Economic Growth, 1975- 2000, *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 5(2) p. 461-514.
- Kemp, Murray C. y Van Long, Ngo (1978). "The Optimal Consumption of Depletable Natural Resources: Comment". *Quarterly Journal of Economics*, May 92, 345-54.
- Lewis, Tracy R., Matthews, Steven A. y Burness, H. Stuart (1979). "Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources: Note". *American Economic Review*, Mar. 69, 227-30.
- Soladay, John J. (1980). "Monopoly and Crude Oil Extraction" (1979). *American Economic Review*, Mar. 69, 234-39.
- Stewart, Marion B. (1980). "Monopoly and the Intertemporal Production of a Durable Extractable Resource". *Quarterly Journal of Economics*, Feb. 94, 99-111.
- Stiglitz, Joseph (1976). "Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources". *American Economic Review*, Sept. 66, 655-61.
- Instituto Mexicano del Petróleo (2011). *Tipos de petróleo*. Disponible en <http://www.imp.mx/petroleo/?imp=tipos>
- Weinstein, M. y Zeckhauser, R. (1975). "Optimal Consumption of Depletable Resources". *Quarterly Journal of Economics*, Ag. 89, 37 1-92.