



EL COLEGIO DE MÉXICO

CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS

MAESTRÍA EN ECONOMÍA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ECONOMÍA

OPEP: UN ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE CARTEL

MAGDALENO MENDOZA DEL TORO

PROMOCIÓN 2020 - 2022

ASESOR:

ALEJANDRO I. CASTAÑEDA SABIDO

AGOSTO 2022

Resumen

El presente trabajo estima el modelo propuesto por Almoguera, Douglas y Herrera (2011) pero ampliando el periodo de análisis. Este es un “Switching regression model” de ecuaciones simultaneas que permite analizar que tipo de estructura de mercado caracteriza mejor al mercado internacional de petróleo, así como probar si existe alternancia entre comportamiento colusivo y no cooperativo entre los miembros de la OPEP. La estimación utiliza datos trimestrales que abarcan el periodo comprendido entre los años 1974 a 2021. Se encuentra evidencia favorable de que la alternancia de comportamiento se da entre los miembros de la OPEP, sin embargo, la capacidad de este organismo de llevar los precios más allá de lo que implica una competencia tipo Bertrand o Cournot es bastante limitada.

Índice General.

1- Introducción.....	1
2- Revisión de Literatura.....	2
3- Modelo Económico.....	4
4- Datos.....	12
5- Resultados.....	16
6- Conclusión.....	21
7- Referencias.....	22

1- Introducción.

La organización de países exportadores de Petróleo (OPEP) es una organización intergubernamental cuyo objetivo es coordinar y unificar políticas petroleras entre los países miembros con el fin de asegurar precios “justos y estables” para los productores de petróleo, en otras palabras, desde un punto de vista económico la OPEP es un cartel cuyos miembros cooperan estableciendo cuotas de producción para reducir la competencia y elevar los precios. Los miembros de la OPEP controlan aproximadamente el 40% de la producción mundial de petróleo y un 80% de las reservas petroleras mundiales.

A pesar de lo previamente expuesto, en general se considera que la capacidad de la OPEP para influir en los precios es bastante limitada debido a que los miembros a menudo se desvían de las cuotas de producción acordadas, por lo que los precios parecen más bien determinarse en un mercado competitivo donde la OPEP es capaz ocasionalmente de coordinarse de manera efectiva y elevar los precios.

Un comportamiento de este tipo sería similar al equilibrio propuesto por Green y Porter (1984). En este artículo los autores exponen un juego donde los miembros de un cartel presentan la dificultad de detectar los desvíos de algunos de los miembros, esto debido a que la demanda del bien producido puede sufrir choques aleatorios. Cada una de las empresas conoce su propia producción, pero desconoce la del resto de los integrantes del cartel, cuando se observa una disminución en el precio esto puede ser debido a un choque aleatorio de demanda o bien a que alguno de los miembros se ha desviado del acuerdo colusorio. Green y Porter (1984) muestran que en una situación de este tipo la estrategia óptima para los miembros del cartel da lugar a un equilibrio donde las guerras de precio ocurren. Por lo tanto, debería de observarse una alternancia entre comportamiento colusivo y no cooperativo entre los miembros del cartel. Esto también implicaría que las fluctuaciones observadas en los precios no son solamente consecuencia de variaciones exógenas en la oferta y demanda, sino que también son producto de la alternancia del comportamiento entre los miembros del cartel.

El presente trabajo replica la estimación del modelo econométrico propuesto por Almoguera, Douglas y Herrera (2011) pero ampliando el periodo de análisis, (el trabajo original utiliza datos de 1974 a 2004 mientras que el presente utiliza datos de 1974 a 2021) el propósito de dicho modelo es probar si existe evidencia en favor de un equilibrio como el propuesto por

Green y Porter (1984) para la OPEP y el mercado mundial de petróleo. El modelo de Almoguera, Douglas y Herrera (2011) es una versión modificada del de Porter (1983).

Los objetivos principales que persigue este trabajo son los siguientes:

1. Probar si existe alternancia entre comportamiento colusivo y no cooperativo en los miembros de la OPEP.
2. Probar estadísticamente que tipo de estructura de mercado describe mejor el comportamiento de la OPEP.
3. Evaluar la capacidad que tiene la OPEP para actuar como cartel e influir en los precios.

En la siguiente sección se hace una breve revisión de la literatura en la que se describe de manera general los trabajos de Green y Porter (1984) y Porter (1983). Asimismo, se discuten las diferencias principales entre Almoguera, Douglas y Herrera (2011) y los enfoques más tradicionales que se han utilizado en la elaboración de trabajos empíricos acerca de la OPEP. La tercera sección describe de forma detallada el modelo econométrico a estimar, así como el método de estimación utilizado. En la cuarta sección se describen los datos utilizados en la estimación del modelo y la fuente de su obtención. En la sección quinta se reportan los resultados obtenidos y una descripción de estos. Por último, en la sección sexta se presentan las conclusiones.

2- Revisión de Literatura.

El modelo de Green y Porter (1984) explica como en un juego de colusión puede existir un equilibrio donde prevalecen guerras de precios (comportamiento no cooperativo) durante periodos finitos de tiempo en alternancia con periodos donde los jugadores actúan de forma colusiva. La suposición más importante de este modelo es que la demanda es susceptible a sufrir choques aleatorios no observables por los jugadores. Como es sabido todo trato de colusión necesita de un mecanismo de castigo creíble para aquellos jugadores que se desvían del acuerdo y de esta manera desincentivar trampas por parte de los miembros del cartel, para esto es importante que exista una variable que indique la desviación de alguno de los jugadores como podría ser el precio. En el modelo de Green y Porter (1984) las cantidades

producidas por el resto de las empresas no son observables para un jugador determinado, la única variable que es de observación común a todas las empresas es el precio de mercado. Tomando en cuenta el supuesto de choques aleatorios en la demanda, las empresas tienen problema para distinguir entre los desvíos o comportamiento tramposo por parte de algún miembro del cartel y los choques aleatorios. Si se observa una caída en el precio no es posible discernir si esta caída es debido a un choque de demanda o consecuencia de que alguna de las empresas produjo por encima de la cantidad de colusión. Para un escenario de con estas características, Green y Porter demuestran la existencia de un equilibrio donde la estrategia adoptada por cada uno de los jugadores es la siguiente: Todas las empresas producen la cantidad de colusión, pero siempre que observen que el precio cae por debajo de cierto umbral \bar{P} aplicaran castigo durante una cantidad finita de periodos y finalizado el periodo de castigo retornan a la producción de colusión. Este tipo de estrategias es llamada “Estrategia de gatillo” ya que cualquier precio observado por debajo de \bar{P} “dispara” un comportamiento no cooperativo por parte de todos los miembros del cartel. En conclusión, si las condiciones el modelo de Green y Porter están presentes en una industria, en equilibrio debería de observarse una alternancia de comportamiento entre las empresas miembros del cartel.

En Porter (1983) se estima un “Switching regression model” para probar empíricamente la existencia de un equilibrio como el propuesto en Green y Porter (1984) para la JEC, (Joint Executive Committee). Este fue un cartel ferroviario en la década de 1880`s que controlaba la totalidad del transporte desde Chicago a la costa atlántica de los Estados Unidos. El modelo utiliza datos agregados de series de tiempo tanto de precios como de cantidades para estimar un modelo de oligopolio dinámico. Los resultados de Porter (1983) encuentra evidencia favorable a que los cambios de comportamiento efectivamente suceden.

Posteriormente Almoguera, Douglas y Herrera (2011) estiman una versión modificada del modelo de Porter (1983) para probar si existen alternancia en el comportamiento de la OPEP. Esto contrastaba de forma importante con los trabajos anteriores que trataban de estudiar empíricamente el comportamiento de la OPEP con modelos en una forma reducida y un enfoque de una sola ecuación donde se consideraba de forma individual funciones de oferta para cada país miembro, la mayoría de dichos trabajos se basan en Griffin (1985). Por otro

lado, el modelo de Almoguera, Douglas y Herrera (2011) tiene un enfoque estructural, donde a partir de suposiciones acerca de la forma funcional de la demanda y los costos se deriva un modelo de ecuaciones simultaneas. Este modelo estudia la organización como un todo dejando de lado el enfoque por país, esto permite a los autores realizar pruebas de hipótesis sobre el comportamiento de la OPEP como organización y determinar la estructura de mercado que mejor caracteriza al mercado mundial de petróleo.

Almoguera, Douglas y Herrera (2011) encuentran evidencia favorable de que existe alternancia entre comportamiento colusivo y no cooperativo en la OPEP y que, aunque existen periodos en que los precios son considerablemente mayores debido a la acción de la OPEP esta no es capaz de elevar los precios de forma sistemática ya que la estructura de mercado que mejor caracteriza el periodo estudiado es del tipo Cournot con presencia de una franja competitiva.

3- Modelo Econométrico.

En esta sección se describe el modelo econométrico empleado por Almoguera, Douglas y Herrera (2011) el cual está basado en el modelo de Porter (1983) modificado adecuadamente para reflejar la estructura de la OPEP y el mercado mundial de petróleo. Este modelo tiene por objetivo estimar econométricamente el equilibrio de Nash desarrollado en el modelo de Green y Porter (1984). El modelo a estimar es un “Switching regression model” de ecuaciones simultaneas (una ecuación para la demanda y otra para la oferta) en el cual la clasificación de régimen para cada observación en el tiempo entre comportamiento colusivo y no cooperativo es desconocido. La principal diferencia entre el modelo de Almoguera, Douglas y Herrera (2011) y Porter (1983) es que en el segundo el JEC controla la totalidad de su mercado en cambio la OPEP históricamente ha controlado en torno al 40% de la producción total de petróleo, por lo tanto, el primero refleja el hecho que la OPEP enfrenta una franja competitiva compuesta por aquellos productores de petróleo no pertenecientes al cartel.

Se comienza planteando la función de demanda de la producción de petróleo de la OPEP para la cual se supone una forma funcional log-lineal, donde cantidad se expresa en función del precio y otras variables que desplazan la demanda:

$$\ln opep_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln p_t + \alpha_2 OCDE_t + \alpha_3 \ln nopep_t + \alpha_4 dummies_t + U_{1t}$$

Donde $\ln opep_t$ es el logaritmo de la producción de petróleo de los miembros de la OPEP, $\ln p_t$ es el logaritmo de el precio mundial de petróleo $OCDE_t$ es el crecimiento económico de los países pertenecientes a la OCDE, $\ln nopep_t$ es el logaritmo de la producción de petróleo de los países que no son miembros de la OPEP y $dummies_t$ es un vector de variables estacionales que identifica el trimestre. U_{1t} es el termino de error el cual se asume i.i.d con distribución normal, media 0 y varianza σ_1^2 .

Como la forma funcional es log-lineal los coeficientes a estimar se pueden interpretar como elasticidades. Para el coeficiente α_1 se espera que sea negativo (ya que hablamos de una función de demanda) y mayor a 1 en valor absoluto esto ya que si la OPEP maximiza su beneficio como productor de petróleo este debería de operar en la parte elástica de su curva de demanda. Para α_2 se espera un signo positivo ya que un mayor crecimiento económico en los países de OCDE llevaría a una mayor demanda de petróleo, finalmente para α_3 se esperaría un signo negativo ya que el petróleo producido por los países no miembros podría considerarse un sustituto al petróleo de la OPEP.

Ya que la OPEP en la mayoría de sus juntas establece acuerdos para cantidades, para la ecuación de oferta se asumirá que la OPEP elige la cantidad a ser producida, con lo que el precio mundial de petróleo es establecido, mientras que la franja competitiva toma dicho precio y produce hasta el punto donde precio iguala al costo marginal. La demanda mundial de petróleo debe de igualarse a la producción de la OPEP mas la producción de los países no miembros donde la producción de la OPEP es igual a la suma de producción de los países miembros:

$$Q^{mundial} = Q^{OPEP} + Q^{no-OPEP}$$

$$Q^{OPEP} = \sum_i q_i$$

Donde i es el índice para cada país miembro de la OPEP.

Cada miembro del cartel maximiza su función de beneficio dada por la siguiente expresión:

$$\pi_i = p_t q_{it} - C_i(q_{it})$$

Donde $C_i(q_{it})$ es la función de costos de producción para el país i . Diferenciando con respecto q_i obtenemos la condición de primer orden para el problema de maximización del beneficio:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = p_t + q_i \frac{\partial p_t}{\partial q_i} - MC_i = 0$$

Utilizando la regla de la cadena podemos obtener la siguiente expresión:

$$\frac{\partial p_t}{\partial q_i} = \frac{\partial p_t}{\partial Q^{mundial}} \frac{\partial Q^{mundial}}{\partial Q^{OPEP}} \frac{\partial Q^{OPEP}}{\partial q_i}$$

Debido a que $\frac{\partial Q^{mundial}}{\partial Q^{OPEP}} = \frac{\partial Q^{OPEP}}{\partial q_i} = 1$ tenemos que: $\frac{\partial p_t}{\partial q_i} = \frac{\partial p_t}{\partial Q^{mundial}}$. Considerando esto y reordenando podemos expresar la condición de primer orden de la siguiente forma:

$$p_t + q_i \frac{\partial p_t}{\partial Q^{mundial}} = MC_i$$

Ahora se define la participación de mercado de la OPEP como $s^o = \frac{Q^{OPEP}}{Q^{mundial}}$ y la participación de mercado de cada país miembro dentro de la OPEP como $s^i = \frac{q_i}{Q^{OPEP}}$ por lo tanto la participación de cada miembro de OPEP en la producción mundial queda dada por $\frac{q_i}{Q^{mundial}} = s^o s^i$. También se define la elasticidad precio de la demanda mundial de petróleo de la siguiente forma: $\varepsilon^m = \frac{\partial Q^{mundial}}{\partial p} \frac{p}{Q^{mundial}}$. Usando estas definiciones la condición de primer orden puede ser reescrita de la siguiente manera:

$$p_t \left[1 + \frac{s^o s^i}{\varepsilon^m} \right] = MC_i$$

Podemos agregar un parámetro θ_{it} a la ecuación anterior este parámetro indicara el tipo de estructura de mercado.

$$p_t \left[1 + \frac{s^o \theta_{it}}{\varepsilon^m} \right] = MC_i$$

Se consideran 5 estructuras de mercado posibles, a continuación, se enumeran y se determina el valor de θ_{it} correspondiente:

1. Competencia tipo Bertrand: Esta estructura de mercado implica $p_t = MC_i$ por lo tanto tenemos que $\frac{s^o \theta_{it}}{\varepsilon^m} = 0$. Esto quiere decir que $\theta_{it} = 0$ para un mercado tipo Bertrand.
2. Competencia tipo Cournot en presencia de una franja competitiva: Esta estructura implicaría para nuestra condición de primer orden $p_t \left[1 + \frac{s^o s^i}{\varepsilon^m} \right] = MC_i$, por lo tanto $\theta_{it} = s^i$.
3. Competencia tipo Cournot sin franja competitiva: Esto implicaría que la totalidad del mercado está bajo el control de la OPEP, $s^o = 1$ por lo tanto la condición de primer orden es $p_t \left[1 + \frac{s^i}{\varepsilon^m} \right] = MC_i$. Entonces $\theta_{it} = \frac{s^i}{s^o}$.
4. Cartel cooperativo en presencia de franja competitiva: Esto es equivalente a tener un productor dominante que enfrenta una franja competitiva es decir $s^i = 1$, por lo tanto, la condición de primer orden es: $p_t \left[1 + \frac{s^o}{\varepsilon^m} \right] = MC_i$. De esta forma se deduce que $\theta_{it} = 1$.
5. Cartel cooperativo: Esto implicaría que la OPEP actúa como monopolio por lo que la condición de primer orden es: $p_t \left[1 + \frac{1}{\varepsilon^m} \right] = MC_i$ entonces $\theta_{it} = \frac{1}{s^o}$.

El propósito del modelo es realizar pruebas sobre el comportamiento de la OPEP en su conjunto y no sobre cada miembro además la estimación se hace con datos agregados de producción y precios, así que para derivar la función de oferta agregada se procede de la siguiente forma. La expresión $p_t \left[1 + \frac{s^o \theta_{it}}{\varepsilon^m} \right] = MC_i$ se multiplica por la participación s^i para cada país y sumamos sobre todo los países, esto es:

$$\sum_i s^i p_t \left[1 + \frac{s^o \theta_{it}}{\varepsilon^m} \right] = p_t \left[1 + \frac{s^o \theta_t}{\varepsilon^m} \right] = \sum_i s^i MC_i$$

Donde $\theta_t = \sum_i s^i \theta_{it}$.

A continuación, asumimos una forma funcional específica para para la función de costos. $C_i(q_{it}) = a_i q_{it}^\delta + F_{it}$ esta es una función de costos de elasticidad constante (nótese que la función es distinta para cada país) donde δ es la elasticidad de los costos variables con respecto la producción. Ahora reescribimos el costo marginal agregado como:

$$\sum_i s^i MC_i = D Q_t^{\delta-1}$$

Donde $D = \delta (\sum_i a_i^{\frac{1}{1-\delta}})^{1-\delta}$ y $Q_t = \sum_i q_{it}$.

Al final obtenemos:

$$p_t \left[1 + \frac{s^o \theta_t}{\varepsilon^m} \right] = D Q_t^{\delta-1}$$

Esta última expresión puede ser linealizada aplicando logaritmos, por lo que la oferta agregada puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\ln p_t = \beta_0 + \beta_1 Q_t + \beta_2 Z_t + \beta_3 I_t + U_{2t}$$

Donde I_t es una variable dummy que es igual a 1 cuando la OPEP está comportándose de forma colusiva y 0 si la conducta es no cooperativa. La variable Z_t captura factores que afectan la oferta de petróleo de la OPEP como pueden ser conflictos armados en alguno de los países miembros. Por ultimo se agrega un termino de error U_{2t} el cual se asume i.i.d. con distribución normal, media 0 y varianza σ_2^2 además $Cov(U_{1t}, U_{2t}) = \sigma_{12}$.

Los coeficientes de la última ecuación quedan dados de la siguiente forma:

$$\beta_0 = \ln D$$

$$\beta_1 = \delta - 1$$

$$\beta_3 = -\ln \left(1 + \frac{s^o \theta_t}{\varepsilon^m} \right)$$

Para efecto de la estimación se considerará θ_t como constante en el tiempo, así como la participación de la OPEP en la producción mundial s^o y el índice Herfindal de la industria H . Específicamente se considera $s^o = .4$ y $H = .065$ los cuales son valores promedio para

el periodo analizado. Ahora podemos plantear hipótesis específicas para cada estructura de mercado.

1. Competencia tipo Bertrand: $\theta = 0$
2. Competencia tipo Cournot en presencia de una franja competitiva: $\theta = H = .065$
3. Competencia tipo Cournot sin franja competitiva: $\theta = H/s^o = .1625$
4. Cartel cooperativo en presencia de franja competitiva: $\theta = 1$
5. Cartel cooperativo: $\theta = 1/s^o = 2.4$

La elasticidad precio de la demanda mundial de petróleo ε^m puede escribirse en función de las elasticidades de la demanda para el petróleo de la OPEP y la franja competitiva de la siguiente forma:

$$\varepsilon^m = \varepsilon^{opep} s^o + \sum_j \varepsilon_j s_j$$

Donde j es el índice para los países no miembros de la OPEP. Como la participación de los países no miembros es pequeña con respecto a la totalidad del mercado asumimos que:

$$\varepsilon^m = \varepsilon^{opep} s^o$$

Dado que α_1 es la elasticidad precio de la demanda de petróleo producido por la OPEP y sabiendo que $\beta_3 = -\ln\left(1 + \frac{s^o \theta}{\varepsilon^m}\right)$ podemos expresar θ de la siguiente manera:

$$\theta = \alpha_1 (e^{-\beta_3} - 1)$$

Por lo tanto, una vez se estima la ecuación de demanda y oferta es posible calcular θ a partir de α_1 y β_3 (coeficiente de la variable de colusión).

La función de oferta a estimar queda de la siguiente manera:

$$\ln p_t = \beta_0 + \beta_1 \ln opep_t + \beta_2 ES_t + \beta_3 I_t + \beta_4 dummies_t + U_{2t}$$

Donde ES_t es una variable dummy que identifica eventos especiales (Guerras, revueltas sociales, etc.) que podrían afectar la producción de petróleo en los países miembros de la OPEP, también se agrega las variables $dummies_t$ para controlar por efectos estacionales

por último el termino de error U_{2t} el cual se asume i.i.d. con distribución normal, media 0 y varianza σ_2^2 como ya se había mencionado.

Se espera que $\beta_3 > 0$ si existe alternancia entre comportamiento colusivo y no cooperativo con precios mayores cuando se está en un periodo colusivo.

Con el modelo previamente descrito es un modelo de ecuaciones simultaneas con $\ln opep_t$ y $\ln p_t$ como variables endógenas. Si la variable I_t es conocida entonces el modelo puede ser estimado mediante mínimos cuadrados en 3 etapas (3SLS), en cambio si la clasificación de régimen es desconocida (es decir I_t no se conoce) pero esta sigue una distribución Bernoulli de la siguiente forma:

$$I_t = \begin{cases} 1 & \text{con probabilidad } \lambda \\ 0 & \text{con probabilidad } (1 - \lambda) \end{cases}$$

Entonces tenemos un “Switching regression model” de ecuaciones simultaneas el cual podemos estimar (incluyendo la probabilidad λ) mediante el algoritmo E-M propuesto por Kiefer (1980).

El modelo de oferta y demanda puede ser reescrito en forma matricial de la siguiente manera:

$$By_t = \Gamma X_t + \Delta I_t + U_t$$

Donde:

$$y_t = \begin{pmatrix} \ln opep_t \\ \ln p_t \end{pmatrix} \quad X_t = \begin{pmatrix} 1 \\ OCDE_t \\ \ln nopep_t \\ ES_t \\ dummies_t \end{pmatrix} \quad U_t = \begin{pmatrix} U_{1t} \\ U_{2t} \end{pmatrix}$$

El vector de error U_t es i.i.d. con una distribución $N(0, \Sigma)$ donde:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 \end{pmatrix}$$

Las matrices que contienen los parámetros a estimar son las siguientes:

$$B = \begin{pmatrix} 1 & -\alpha_1 \\ -\beta_1 & 1 \end{pmatrix} \quad \Delta = \begin{pmatrix} 0 \\ \beta_3 \end{pmatrix} \quad \Gamma = \begin{pmatrix} \alpha_0 & \alpha_2 & \alpha_3 & 0 & \alpha_4 \\ \beta_0 & 0 & 0 & \beta_2 & \beta_4 \end{pmatrix}$$

Si la variable I_t fuera conocida la distribución de probabilidad de y_t dado I_t es:

$$h(y_t|I_t) = (2\pi)^{-1}(\det \Sigma)^{-\frac{1}{2}} |\det B| \exp[-1/2(By_t - \Gamma X_t - \Delta I_t)' \Sigma^{-1}(By_t - \Gamma X_t - \Delta I_t)]$$

Si son T observaciones entonces la función de verosimilitud es la siguiente:

$$L(I_1 \dots I_T) = \prod_{t=1}^T h(y_t|I_t)$$

Maximizar esta función de verosimilitud sería suficiente para estimar B, Δ, Γ y Σ sin embargo dado que I_t la función de densidad de y_t esta dada por la siguiente expresión:

$$f(y_t) = (2\pi)^{-1}(\det \Sigma)^{-\frac{1}{2}} |\det B| [\lambda \exp[-1/2(By_t - \Gamma X_t - \Delta I_t)' \Sigma^{-1}(By_t - \Gamma X_t - \Delta I_t)] + [(1 - \lambda) \exp[-1/2(By_t - \Gamma X_t)' \Sigma^{-1}(By_t - \Gamma X_t)]]$$

Y la función de verosimilitud es:

$$L = \prod_{t=1}^T f(y_t)$$

Con una estimación inicial de la clasificación de régimen se puede hacer una estimación inicial de λ con la siguiente formula:

$$\lambda^0 = \sum_{t=1}^T \frac{w_t^0}{T}$$

Utilizando λ^0 se maximiza $L(\lambda^0)$ para obtener una primera estimación de B, Δ, Γ y Σ estas primeras estimaciones serán denominadas B^0, Δ^0, Γ^0 y Σ^0 . El algoritmo de Kiefer actualiza la serie w_t^0 mediante la regla de Bayes:

$$\begin{aligned} w_t^1 &= Pr(I_t = 1|y_t, X_t, B^0, \Delta^0, \Gamma^0, \Sigma^0, \lambda^0) \\ &= \frac{\lambda^0 h(y_t|X_t, B^0, \Delta^0, \Gamma^0, \Sigma^0, I_t = 1)}{\lambda^0 h(y_t|X_t, B^0, \Delta^0, \Gamma^0, \Sigma^0, I_t = 1) + (1 - \lambda^0) h(y_t|X_t, B^0, \Delta^0, \Gamma^0, \Sigma^0, I_t = 0)} \end{aligned}$$

Con la nueva clasificación de régimen $\{w_1^1 \dots w_T^1\}$ se calcula λ^1 y maximizando $L(\lambda^1)$ se obtienen B^1, Δ^1, Γ^1 y Σ^1 los cuales se utilizan a su vez para calcular nuevamente la clasificación de régimen $\{w_1^2 \dots w_T^2\}$, este proceso iterativo se repite hasta la convergencia

de los parámetros a estimar $(\hat{\lambda}, \hat{B}, \hat{\Delta}, \hat{\Gamma}, \hat{\Sigma})$. El criterio que se utilizó para detener el proceso fue una vez que dos secuencias w_t tuvieran una covarianza mayor a .998. Kiefer muestra que $\hat{\lambda}, \hat{B}, \hat{\Delta}, \hat{\Gamma}, \hat{\Sigma}$ son los estimadores de máxima verosimilitud que se obtendrían al maximizar $L(I_1 \dots I_T) = \prod_{t=1}^T h(y_t | I_t)$.

Una vez la estimación está finalizada es posible clasificar cada observación como colusiva o no cooperativa. De acuerdo a Lee y Porter (1984) el criterio de clasificación es el siguiente:

$$\begin{aligned} I_t &= 1 & \text{si } \hat{w}_t > .5 \\ I_t &= 0 & \text{de lo contrario.} \end{aligned}$$

Esta regla minimiza la probabilidad total de error en la clasificación.

4- Datos.

Los datos utilizados en Almoguera, Douglas y Herrera (2011) corresponden al periodo de 1974 a 2004 (datos trimestrales). En este trabajo se expande la muestra utilizando igualmente datos trimestrales que van de 1974 a 2021. Los datos relacionados a precios y cantidades producidas de petróleo fueron obtenidos de la página web del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE). $\ln opep_t$ es el logaritmo de la producción petrolera en miles de barriles por día para los países miembros de la OPEP, $\ln nopep_t$ es el logaritmo de la producción petrolera en miles de barriles por día para los países no miembros de la OPEP. Como medida de los precios internacionales del petróleo se ha utilizado el costo de adquisición por barril de petróleo importado para las refinerías de Estados Unidos, estos datos son mensuales así que se han transformado a trimestrales tomando el promedio sobre el trimestre. Los datos de precio por barril de petróleo fueron convertidos a precios reales deflactando mediante el CPI (base 2015) (índice de precios al consumidor para los Estados Unidos) el cual se obtuvo de la plataforma FRED de la Reserva Federal, de esta forma $\ln p_t$ es el logaritmo de los precios reales de petróleo en dólares constantes del 2015.

Como variables exógenas de la demanda tenemos $\ln nopep_t$ que es el logaritmo de la producción petrolera en miles de barriles por día para los países no miembros de la OPEP como ya se había mencionado. $OCDE_t$ es la primera diferencia del logaritmo del producto interno bruto real (medido en millones de dólares del 2015) de los países pertenecientes a la

OCDE esta variable se utiliza como proxy de las tasas de crecimiento del PIB mundial (esto debido a que no existen datos trimestrales del PIB mundial), la justificación de $OCDE_t$ como variable proxy es que los países miembros a dicho organismo representan en torno a un 60% de la actividad económica mundial para el periodo analizado.

La variable de colusión I_t que es utilizada para la estimación mediante 3SLS y como clasificación de régimen inicial para la estimación del “Switching regression model” mediante el algoritmo E-M, fue construida tomando a consideración la diferencia entre la cuota de producción acordada por la OPEP y la producción real, si para un periodo determinado la producción real está un 10% por encima de la cuota pactada el periodo se clasifica como no cooperativo y se asigna $I_t = 0$ para esa observación.

Finalmente, la variable ES_t controla la ocurrencia de eventos especiales que podrían afectar la producción de los países miembros de la OPEP estos eventos pueden ser guerras, revueltas sociales o sanciones económicas. Es una variable dummy que toma el valor de 1 en la presencia de un evento de este tipo y 0 de lo contrario. Los eventos que se consideraron son: La revolución iraní (1979), la guerra Iran-Irak (1980-1988), la invasión de Kuwait (1990-1991), Invasión de Irak(2003-2011), conflicto en el delta del Níger(2004),Primavera Árabe(2010-2012) y las sanciones económicas contra Iran(2012-2016).

En la tabla 1 se muestra la estadística descriptiva de las variables:

Variable.	Media	Desviación Estándar	Min	Max
Producción de petróleo de la OPEP (miles de barriles por día)	26561.27	5245.15	14051.28	34399.89
Producción de petróleo fuera de la OPEP (miles de barriles por día)	40228.09	5344.27	26857.06	52269.37
Precio por barril de petróleo (dólares del 2015)	54.33	25.86	15.64	126.65
Crecimiento del PIB para países de la OCDE (porcentaje)	0.6189	1.17	-11.02	9.01
ES	0.59	0.49	0	1
I	0.37	0.48	0	1

Tabla 1: Estadística descriptiva.

Podemos observar que la producción media de la OPEP es menor que la del resto del mundo, para ambos datos de producción la desviación estándar es bastante similar. Esto implica que, en general, la producción de los miembros de la OPEP es considerablemente más volátil, esta observación puede ser consistente con un comportamiento que alterna entre colusión y no cooperación. Durante los periodos colusivos, los miembros del cartel tendrán producciones más bajas apegadas a las cuotas correspondientes y durante los periodos de no cooperación responderán elevando la producción de forma agresiva, por lo tanto, la alternancia generara variaciones bruscas en la producción.

El precio real medio del barril de petróleo para el periodo estudiado es aproximadamente de 54 dólares de 2015, la desviación estándar alta nos indica que esta variable es bastante volátil. La tabla también nos muestra que para el periodo estudiado aproximadamente en 60% de las observaciones se estuvo en presencia de algún evento que afecto de forma negativa la producción de petróleo en alguno de los miembros de la OPEP. Nuestra construcción de la variable I_t nos sugiere que para el periodo analizado en el 37% de los trimestres la OPEP actuó de forma colusiva.

A continuación, se muestra la serie de tiempo de la producción de petróleo tanto de la OPEP como de los países no pertenecientes a dicha organización:

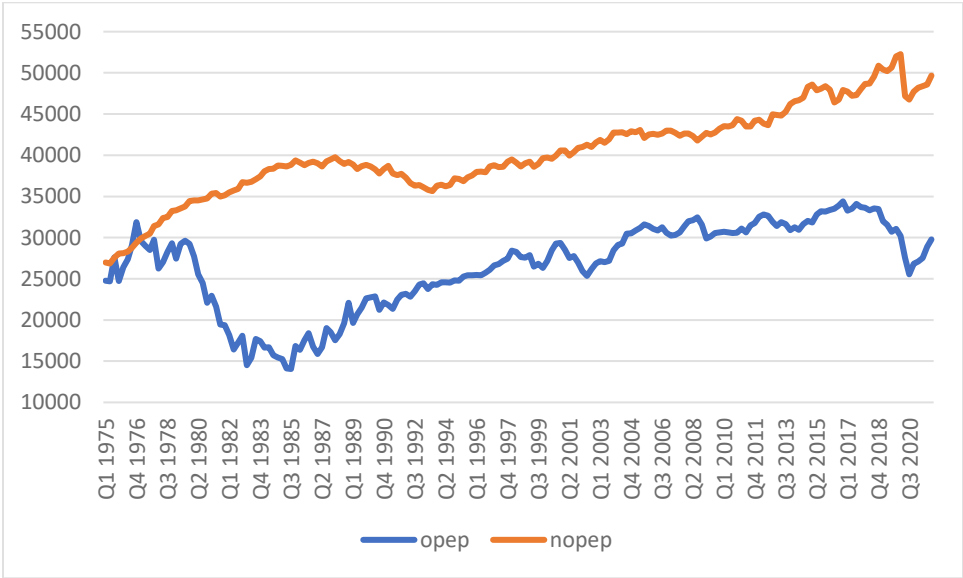


Figura 1: Producción de Petróleo

Podemos observar que ambas producciones tienen una tendencia al alza sin embargo la producción de los países no OPEP se comporta de una forma más estable (menos volátil), en cambio la producción de la OPEP exhibe movimientos más bruscos. También se observa que la OPEP redujo de forma brusca su producción en el periodo de 1980 a 1983. Sin embargo, a partir de ese momento, la producción se ha mantenido al alza. El gráfico también muestra como a lo largo de la década de los 70`s la OPEP producía casi la misma cantidad de petróleo que el resto del mundo sin embargo de la década de los 80`s en adelante la producción de la OPEP a perdió protagonismo, para ver esto de forma más clara se muestra la serie de tiempo de la participación de mercado de la OPEP:

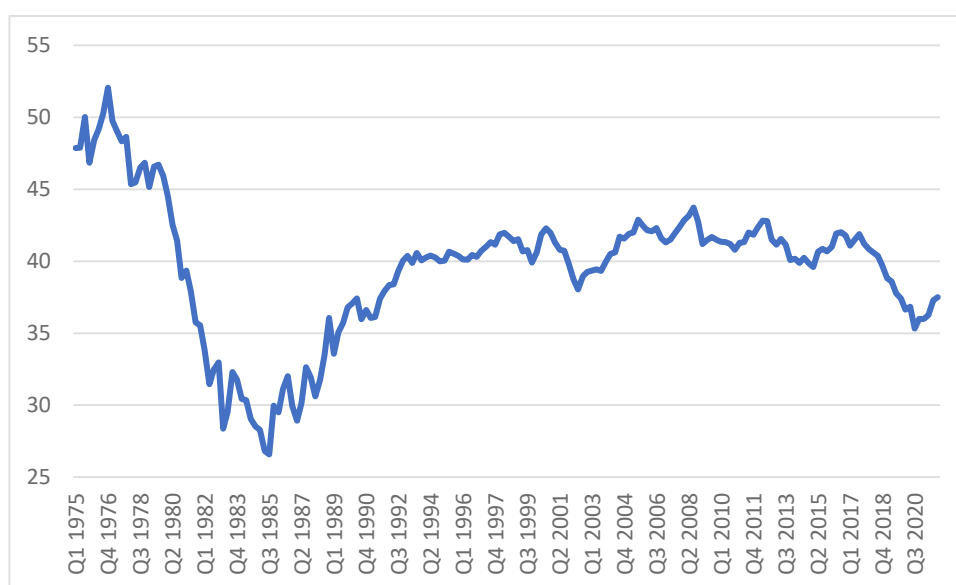


Figura 2: Participación de mercado de la OPEP

Se observa como en la década de los 70`s la OPEP era responsable de casi la mitad de la producción mundial de petróleo, sin embargo, su participación cayó de forma brusca a principio de los 80`s recuperándose posteriormente. A partir de mediados de los 90`s la participación de la OPEP se mantiene fluctuando en torno a un 40%, con una caída importante desde el 2015 debida en parte al auge petrolero en países como Estados Unidos y Rusia.



Figura 3: Precio real por barril de petróleo.

Por último, en la figura 3 se muestra la serie de tiempo de los precios reales del barril de petróleo, se observa que esta variable tiene un comportamiento bastante volátil.

5- Resultados.

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de las estimaciones econométricas. En la primera columna se muestran los resultados de la estimación mediante 3SLS. En este método I_t se define a partir de las diferencias entre las cuotas y la producción real se toma como una clasificación de régimen precisa. En la segunda columna se reportan las estimaciones del “Switching regression model” usando el algoritmo E-M. Los números reportados entre paréntesis corresponden a los errores estándar.

Si observamos primero los resultados de la estimación por 3SLS vemos que la elasticidad precio de la demanda α_1 resulta significativo en un 10% y tiene el signo anticipado (negativo), sin embargo, esta es menor a uno en valor absoluto lo que implica que la OPEP no se comporta como maximizador del beneficio ya que no opera en la parte elástica de su curva de demanda. La elasticidad nos indica que en promedio un aumento del 1% en los precios del petróleo reduce la demanda de petróleo de la OPEP en un .16%. El coeficiente asociado a la tasa de crecimiento económico de los países de la OCDE resulto ser no

significativo. Por otro lado, el coeficiente asociado a la producción de petróleo de los países no OPEP resulto significativo, pero con el signo contrario al esperado, este coeficiente nos indica que en promedio un aumento del 1% en la producción de petróleo no OPEP eleva la demanda de petróleo OPEP en un .74%, esto puede ser consecuencia de que ambas variables estén correlacionadas positivamente lo que podría indicar la necesidad de añadir variables de identificación adicionales en la ecuación de oferta. Se probó añadir variables como el salario real promedio de los Estados Unidos y el conteo de plataformas petroleras en operación en los países miembros de la OPEP, sin embargo, el signo del coeficiente siguió siendo positivo.

Para los parámetros estimados en la ecuación de oferta observamos que β_1 es estadísticamente significativo y con signo positivo como se esperaría para una relación de oferta. El coeficiente asociado a la variable ES_t es significativa y positiva, nos indica que la presencia de eventos especiales como conflictos armados y revueltas sociales en países de la OPEP generan precios de oferta un 33% más altos. Para la variable construida I_t su coeficiente resulta estadísticamente distinto de 0 con una significancia del 1%.

El signo positivo que presenta este coeficiente es evidencia de que la alternancia entre comportamiento colusivo y no cooperativo ocurre. El valor del coeficiente nos indica que, en promedio, los miembros de la OPEP lograron precios de oferta un 14% más altos cuando estos fueron capaces de coludirse de forma efectiva. Las variables dummies estacionales no resultaron significativas para ninguna de las dos ecuaciones (oferta y demanda) estimadas.

Con los parámetros α_1 y β_3 se ha calculado el parámetro θ y su correspondiente error estándar se ha estimado mediante el método delta. Para este parámetro no podemos rechazar la hipótesis de $\theta = 0$, por lo tanto, este modelo sugiere que si bien la OPEP es capaz de elevar los precios durante los periodos colusivos esta no fue capaz de mantener de forma consistente precios más allá de lo que significa una competencia tipo Bertrand para la totalidad del periodo estudiado.

Por último, el modelo estimado por 3SLS no muestra un buen ajuste dado los bajos valores de la R^2 .

Resultados de la estimación.				
Variables	Estimación con 3SLS		Estimación con E-M	
	Demanda	Oferta	Demanda	Oferta
<i>constante</i>	2.9112** (1.2392)	-6.0726*** (2.0183)	2.8709** (1.1733)	-6.0065*** (0.4870)
<i>ln_opep</i>		0.9490*** (0.1971)		0.9301*** (0.0468)
<i>ln_p</i>	-0.1661* (0.0941)		-0.1723* (0.0986)	
<i>OECD</i>	-0.6197 (1.2482)		-0.2620 (1.2084)	
<i>ln_nopep</i>	0.7458*** (0.1233)		0.7524*** (0.1244)	
<i>ES</i>		0.3354*** (0.0398)		0.3748*** (0.0460)
<i>I</i>		0.1460*** (0.0381)		0.2767** (0.1384)
<i>q1</i>	-0.0159 (0.0441)	0.0389 (0.0517)	-0.0291 (0.0434)	0.0666 (0.0539)
<i>q2</i>	-0.0078 (0.0441)	0.0385 (0.0515)	-0.0148 (0.0435)	0.0731 (0.0521)
<i>q3</i>	0.0143 (0.0443)	0.0747 (0.0513)	0.0030 (0.0438)	0.0901 (0.0527)
<i>theta</i>	0.0225 (.0146)		.0416 (.0612)	
<i>R²</i>	0.1094	0.1463	.2182	.5887

Nota: Los errores estándar se reportan en paréntesis. *, ** y * indican el nivel de significancia al 1%, 5% y 10% respectivamente**

Tabla 2: Resultados.

Pasando al modelo en el cual la clasificación de régimen es desconocida y la estimación se realiza mediante el algoritmo E-M, podemos observar que muchos de los parámetros estimados tienen valores bastante similares a los del modelo por 3SLS. Sin embargo, hay diferencias importantes. La primera diferencia es en el ajuste, podemos observar que el valor de las R^2 es considerablemente mejor para el modelo estimado mediante el algoritmo E-M. La mejora en el ajuste es mayor en la ecuación de oferta que en la de demanda.

Para la ecuación de demanda los parámetros estimados son bastante similares siendo en general los parámetros de la estimación mediante el algoritmo E-M ligeramente superiores, la elasticidad precio de la demanda también es negativa y menor a 1 en valor absoluto, el coeficiente de la producción de los países no OPEP también tiene signo positivo,

Para los parámetros en la ecuación de oferta podemos ver diferencias importantes en las estimaciones de los parámetros correspondientes a las variables ES_t y I_t , ya que el algoritmo E-M sugiere un impacto mayor de estas variables en los precios de oferta. Específicamente la estimación mediante el algoritmo E-M indica un aumento del 37% en los precios de oferta ante la presencia de eventos especiales y un aumento del 27% en los precios de oferta en los periodos en que los miembros de la OPEP se comportan de forma colusiva.

El parámetro θ también es mayor para la estimación mediante el algoritmo E-M, al realizar las pruebas de hipótesis no podemos descartar $\theta = 0$ ni $\theta = .065$ por lo tanto la estimación mediante el algoritmo E-M muestra evidencia tanto a favor de una competencia tipo Bertrand como también por una estructura de mercado tipo Cournot con franja competitiva.

Relacionado a la probabilidad de estar en periodo colusivo para una observación cualquiera, la estimación mediante el algoritmo E-M arroja una probabilidad de $\hat{\lambda} = .5042$ la cual es considerablemente mayor que la probabilidad sugerida a partir de la media de la variable I_t construida artificialmente cuyo valor es de .37. Si utilizamos el criterio de clasificación de Lee y Porter (1984), este define como comportamiento colusivo el 49% de las observaciones de la muestra estudiada, esto contrasta con nuestra variable I_t construida, que define como colusivos solo el 37% de las observaciones.

A continuación, se muestra un gráfico que nos permite comparar la clasificación de régimen tanto de la variable I_t construida (línea azul) como la sugerida por la estimación mediante el algoritmo E-M (línea naranja).

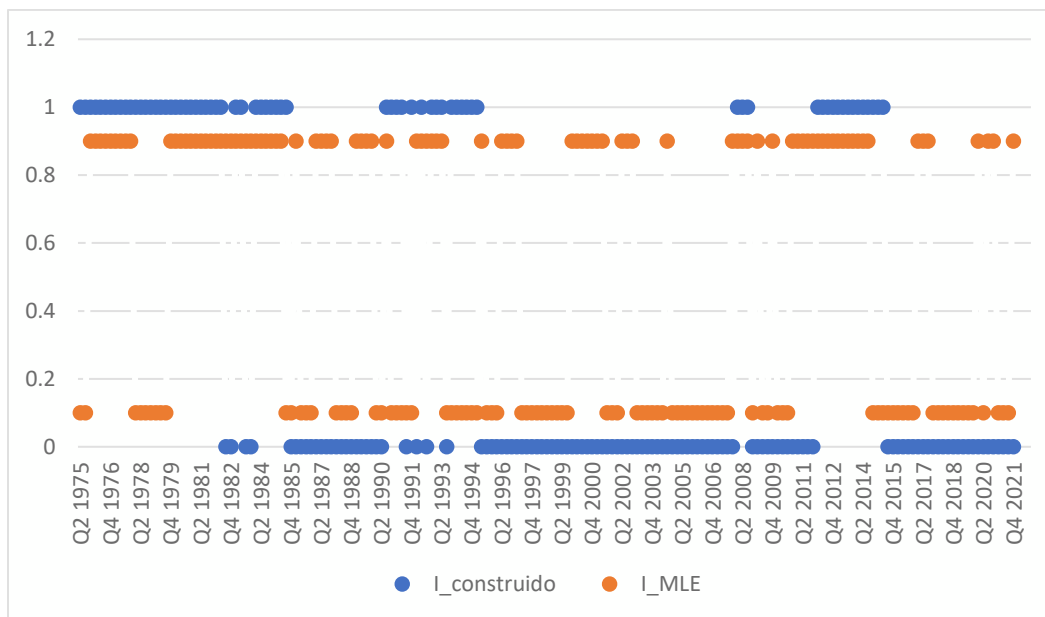


Figura 4: Clasificación de régimen.

La serie $I_{construida}$ toma el valor de 1 si la observación es clasificada como colusiva y 0 si es no cooperativa, para la serie I_{MLE} , el valor es de .9 si la observación se clasifica como colusiva y .1 si es no cooperativa. En general este gráfico muestra que ambas clasificaciones coinciden en muchas de las observaciones. Se observa que en el periodo que va de los años de 1974 a 1985 ambas series reportan un comportamiento colusivo con pocas interrupciones, sin embargo, de finales de las décadas de los 80's a la fecha el comportamiento no cooperativo entre los miembros de la OPEP ha sido más recurrente.

Para confirmar el resultado de que existe alternancia entre comportamiento colusivo y no cooperativo se aplica una prueba de razón de verisimilitud, en la que se compara el modelo estimado contra uno en el que $\beta_3 = 0$, la hipótesis nula es que no existe alternancia en el comportamiento. El estadístico se calcula con la siguiente fórmula $2(L_1 - L_0)$ donde L_1 es el valor de la función log verosimilitud evaluada en los parámetros estimados y L_0 es la función log verosimilitud evaluada en los parámetros estimados a excepción de que $\beta_3 = 0$. El estadístico tiene una distribución chi-cuadrada con un grado de libertad. Como $2(L_1 - L_0) =$

118.33 para la muestra estudiada, podemos rechazar ampliamente la hipótesis nula de que la alternancia entre comportamiento no sucede. Por lo tanto, los cambios observados en precios y cantidades no son solamente producto de cambios exógenos en la demanda y oferta, si no que también son explicados por la alternancia de comportamiento entre colusión y no cooperación entre los miembros de la OPEP.

6- Conclusión.

La evidencia econométrica mostrada en este trabajo nos indica que para el periodo analizado la alternancia entre comportamiento colusivo y no cooperativo sucede entre los miembros de la OPEP, por lo tanto, las variaciones de precio observadas en el mercado internacional de petróleo no son solo consecuencia de choques exógenos en la oferta y demanda, sino que también son consecuencia de la alternancia de comportamiento. Se encuentra que la OPEP es capaz de elevar los precios de forma importante durante periodos de colusión. Se encuentra que la OPEP fue más efectiva en mantener la colusión en el periodo de 1975 a 1985 y a partir de entonces a pesar de que el comportamiento colusivo se sigue dando este es considerablemente menos recurrente.

En cuanto a la estimación del tipo de estructura de mercado que caracteriza mejor al mercado internacional de petróleo en el periodo estudiado, se encuentra evidencia tanto a favor de una competencia tipo Bertrand como para una competencia tipo Cournot con franja competitiva.

De lo anterior se concluye que la capacidad de la OPEP para actuar como cartel e influir sobre los precios es bastante limitada, ya que, aunque han tenido la capacidad de elevar los precios durante ciertos periodos, esta organización no ha sido capaz de llevar los precios en promedio más allá de lo que implica un mercado perfectamente competitivo o una competencia no cooperativa en cantidades.

7- Referencias.

Almoguera, P. A., Douglas, C. C., & Herrera, A. M. (2011). Testing for the cartel in OPEC: non-cooperative collusion or just non-cooperative?. *Oxford Review of Economic Policy*, 27(1), 144-168.

Church, J. and R. Ware (1999), *Industrial Organization: A Strategic Approach*, Irwin/McGraw-Hill.

Green, E. J., & Porter, R. H. (1984). Noncooperative Collusion under Imperfect Price Information. *Econometrica*, 52(1), 87–100.

Griffin, J. M. (1985). OPEC Behavior: A Test of Alternative Hypotheses. *The American Economic Review*, 75(5), 954–963.

Kiefer, N. M. (1980). A Note on Switching Regressions and Logistic Discrimination. *Econometrica*, 48(4), 1065–1069. <https://doi.org/10.2307/1912950>

Lee, L.-F., & Porter, R. H. (1984). Switching Regression Models with Imperfect Sample Separation Information--With an Application on Cartel Stability. *Econometrica*, 52(2), 391–418.

Porter, R. H. (1983). A Study of Cartel Stability: The Joint Executive Committee, 1880-1886. *The Bell Journal of Economics*, 14(2), 301–314.