



PRECIO DEL PETRÓLEO Y CICLO ECONÓMICO EN UNA ECONOMÍA DOLARIZADA: UN ENFOQUE DE CAMBIO DE RÉGIMEN DE MARKOV APLICADO A LA ECONOMÍA ECUATORIANA

*Alexander Carvajal y Fernando Martin-Mayoral**

Información

Recibido:

31 de marzo de 2021

Aceptado:

3 de junio de 2021

Palabras clave:

Crecimiento económico

Precio del petróleo

Ciclo económico

Series de tiempo

Modelos no lineales

Cambio de régimen de

Markov

Ecuador

Clasificación JEL:

O11, C01, C22

DOI:

<https://doi.org/10.47550/RCE/31.1.1>

Resumen

Las economías de los exportadores de materias primas están muy expuestas a los ciclos de precios de las materias primas; sin embargo, los auges y las caídas pueden causar impactos asimétricos dentro de la economía. Comprender la dinámica de estos ciclos puede ayudar en la gestión de sus impactos más amplios en el bienestar económico y social. Respectivamente, esta investigación tiene el objetivo de analizar el efecto asimétrico o no lineal de las variaciones de precios de las materias primas, específicamente el petróleo sobre el ciclo económico de una economía dolarizada como la ecuatoriana, durante el periodo 1991:01-2018:04. Para ello se utilizará un modelo de cambios de régimen de Markov, el cual permite establecer estados para el ciclo económico y las transiciones entre ciclos como consecuencia de shocks del precio del petróleo. Los resultados obtenidos muestran estados de expansión más recurrentes que los estados de recesión, donde las variaciones en el precio del petróleo están relacionadas con los cambios en el estado del ciclo económico de la economía ecuatoriana.

*Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO-Ecuador. Correo electrónico: acarvajal@gmail.com

Copyright © 2021 Carvajal et al. Los autores conservan los derechos de autor del artículo. El artículo se distribuye bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 License.



OIL PRICES AND ECONOMIC CYCLES IN A DOLLARIZED ECONOMY: A MARKOV SWITCHING REGIME APPROACH APPLIED TO THE ECUADORIAN ECONOMY

*Alexander Carvajal and Fernando Martin-Mayoral**

Article Info

Received:

31st March 2021

Accepted:

3th June 2021

Keywords:

Economic growth
Oil price
Business cycle
Time series
Non-linear models
Markov switching model
Ecuador

JEL:

O11, C01, C22

DOI:

<https://doi.org/10.47550/RCE/31.1.1>

Abstract

The economies of commodity exporters are highly exposed to commodity price cycles; however, booms and busts can cause asymmetric impacts within the economy. Understanding the dynamics of these cycles can assist in the management of their broader impacts on economic and social wellbeing. Accordingly, the objective of this research is to analyze the relationship between price variations of raw materials, specifically oil, and the economic cycle of a dollarized economy such as Ecuador's. The research is based on a Markov regime switching model, which allows establishing states for the economic cycle and the transitions between cycles as a consequence of oil price shocks. The research was carried out for the period 1991:01-2018:04. The results obtained show evidence that oil price variations are related to changes in the state of the business cycle in the Ecuadorian economy.

*Latin American Faculty of Social Sciences, FLACSO-Ecuador. E-mail: acarvajaln@gmail.com

Copyright © 2021 Carvajal et al. Authors retain the copyright of this article. This article is published under the terms of the Creative Commons Attribution Licence 4.0.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento no se produce de manera uniforme o lineal. Las economías se ven sometidas a fases o ciclos, con fluctuaciones ascendentes y descendentes de la producción, los precios, los tipos de interés o el empleo, pudiendo implicar elevados costos sociales y económicos. La regularidad de las fluctuaciones económicas entre periodos de prosperidad y declive, encontrada en los estudios empíricos, llevó, desde inicios del siglo xx, a un importante desarrollo de la teoría de los ciclos económicos con las aportaciones de Wesley Mitchell, Simon Kuznets, Frederick Mills o John M. Keynes (Coley y Prescott, 1995). A partir de los años sesenta del siglo pasado, con la aparición de las escuelas post keynesianas estructuralistas y neo estructuralistas, se formaliza el estudio del crecimiento en el corto plazo, con enfoque en los países en desarrollo (Taylor, 1983).

Históricamente, los países en desarrollo se han integrado a los flujos de comercio globales a través de la comercialización de materias primas hacia los grandes centros industriales mundiales (Bowman 2004). Las fluctuaciones de precios de las materias primas pueden generar ciclos en el crecimiento en los países en desarrollo con impactos negativos en el bienestar social. Los impactos negativos incluyen mayor inequidad en la distribución del ingreso y en los niveles de consumo de los hogares, lo que afecta directamente a las condiciones de vida de la población (Agenor, 2000). Por otro lado, se ha comprobado que existen importantes asimetrías o no linealidades en el efecto de las variables económicas sobre los ciclos económicos, mostrando parámetros diferentes entre ambas variables, dependiendo de la fase del ciclo en que se encuentren las economías (Mork, 1989; Kim y Nelson, 2000).

La presente investigación tiene como objetivo analizar la relación entre los cambios en los precios del petróleo y el crecimiento de la economía ecuatoriana en el largo plazo, bajo un enfoque no lineal, mediante la aplicación de un modelo de cambio de régimen de Markov. Se busca evidenciar su relación con los estados de expansión y contracción que se producen en una economía en desarrollo y dolarizada como la ecuatoriana.

El resto del trabajo está estructurado de la siguiente manera: la próxima sección realiza una revisión de la literatura relevante, sobre la relación entre ciclos económicos y el precio del petróleo, para países en desarrollo; la tercera sección describe el modelo de cambio de régimen de Markov; la cuarta sección describe los datos utilizados y presenta la aplicación de la metodología a la economía ecuatoriana para el periodo 1991:01-2018:04. Finalmente, se presentan los principales resultados y conclusiones obtenidas de la investigación.

2. CICLO ECONÓMICO Y MATERIAS PRIMAS

El camino al crecimiento no es un camino sostenido; muy al contrario, sufre de fluctuaciones cíclicas, con periodos de auge y de recesión, lo cual ocurre en la mayoría de economías (Sala i Martin 2000, p. 25).

El crecimiento económico no se produce de manera continua y lineal, sino que está sujeto a fluctuaciones generadas por la presencia de ciclos económicos. Años continuos de crecimiento y expansión van seguidos de años de recesión y crisis, acompañados de disminuciones en la producción, incrementos en el desempleo y pérdidas de bienestar. Como consecuencia de ello, el crecimiento económico registra desviaciones respecto a su tendencia en el largo plazo, generando grandes diferencias en el nivel del producto interno bruto (PIB) per cápita y en el nivel de vida de la población (Dornbush, 1994).

La literatura económica neoclásica, dominante en la esfera académica e investigativa de la segunda mitad del siglo xx, centró su interés en el análisis del crecimiento económico de largo plazo. Se basó en las aportaciones de autores de la escuela clásica como Adam Smith o David Ricardo (Kaldor, 1961) y la escuela marginalista, al considerar la existencia de un equilibrio natural, donde el mercado cumple la función de agente equilibrador y existe pleno empleo de factores productivos. Bajo este supuesto, no existe la posibilidad de fluctuaciones de la producción, con periodos de sobreproducción seguidos por periodos de crisis. La corriente dominante, sin embargo, no pudo predecir ni determinar las causas de la Gran Depresión de 1929.

A partir de la publicación de la *Teoría general del empleo, interés y dinero* (Keynes, 1936), se establece una ruptura con las ideas clásicas y marginalistas, revolucionando la concepción predominante de la época al establecer que el equilibrio es solo un caso particular, siendo el desequilibrio el estado natural de la economía. En el capítulo 22 de la *Teoría general* («Notas sobre el ciclo económico»), se presentan los fundamentos para la explicación de los ciclos económicos, definiéndolos como fluctuaciones alrededor de la tendencia de crecimiento en el largo plazo del sistema económico. Keynes plantea la existencia de una tasa natural de crecimiento, alrededor de la cual fluctúa de manera secuencial la actividad económica. Estos movimientos son dirigidos por las decisiones de inversión, atendiendo a la eficiencia marginal del capital (Martín-Mayoral, 2019).

En la década de 1980, se desarrolló una importante literatura respecto a la relación entre la tendencia de largo plazo del producto y los ciclos económicos. La mayoría de los autores utilizaron diversas metodologías bajo el supuesto de que el crecimiento del PIB sigue un proceso lineal (Berveridge y Nelson, 1981; Nelson y Plosser, 1982; Harvey, 1985; Watson, 1986; Clark, 1987; Campbell y Mankiw, 1987; King, Plosser, Stock y Watson, 1986) (citados en Hamilton 1989). Sin embargo, el crecimiento económico puede tener una tendencia no lineal; es decir, el PIB puede tener una función no lineal con sus valores rezagados.

Varios autores han analizado la presencia de no linealidades en los determinantes de los ciclos económicos. Neftci (1984) estudia la relación entre la tasa de desempleo y el ciclo económico en los Estados Unidos en el periodo 1950-1978. Observa que las variables económicas pueden mostrar comportamientos diferentes en las fases del ciclo, lo cual denomina «asimetrías»; la economía puede estar en estados de pleno empleo o desempleo, según las fases de expansión o recesión respectivamente, y cada fase mantiene parámetros diferentes. Sichel (1987) también considera la presencia de asimetrías en los ciclos económicos. Estudia la relación

entre la producción industrial, el producto interno bruto y el desempleo en los Estados Unidos, para el periodo 1950-1980. Observa cómo, en las diversas fases del ciclo, las fases de contracción son más extensas y profundas que las fases de expansión, que son cortas y de menor duración. Es por ello por lo que Stock (1987) propone realizar transformaciones no lineales para las series de tiempo. Estos trabajos determinaron que la especificación no lineal caracteriza de mejor manera la dinámica de los ciclos económicos que la especificación lineal.

Desde este punto de vista, el trabajo de Hamilton (1989) analiza la tasa de crecimiento trimestral del producto de los Estados Unidos desde 1950 hasta 1980. Observa que la tendencia en el largo plazo del producto está caracterizada por fases de crecimiento seguidas por fases de decrecimiento. Sostiene que las especificaciones lineales utilizadas tradicionalmente no explican de una manera adecuada el comportamiento del producto ante estos cambios de fases que se producen de manera recurrente. Por ese motivo, propone una especificación no lineal basada en el modelo de cambio de régimen de Markov. Adicionalmente, observa que el modelo permite estimar los puntos de inflexión de las fases del ciclo y reproducir los momentos donde el producto cambia de las fases de expansión a las fases de contracción, los cuales coinciden exactamente con esos puntos de inflexión. Hamilton (1989) concluye que la tendencia en el largo plazo del producto está limitada por ciclos económicos que registran cambios recurrentes entre fases con tasas de crecimiento positivas y negativas en la tendencia de largo plazo.

Bajo un enfoque diferente, Hodrick y Prescott (1997) establecieron un «filtro» para analizar los comovimientos de los agregados del producto de los Estados Unidos y otras variables como precios, tasas de interés y agregados monetarios. Concluyen que los ciclos económicos se explican por cambios demográficos, tecnológicos y en el *stock* de capital, que afectan al crecimiento del ingreso per cápita de los Estados Unidos.

En el caso de la economía ecuatoriana, se encuentra muy poca literatura respecto a los ciclos económicos. Existen investigaciones a nivel de tesis de grado o postgrado como la de Bayancela (2016), que aplica un modelo de cambio de régimen de Markov para explicar los ciclos económicos en Ecuador en el periodo 1997-2015. Establece un modelo de dos estados —recesión y recuperación— para estimar cómo las variables explicativas influyen en la probabilidad de permanecer en el mismo estado o transitar hacia otro. Encuentra coincidencias entre la determinación de los ciclos económicos, con el modelo de Hodrick y Prescott y el modelo de cambio de régimen de Markov.

2.1. Precio del petróleo y ciclo económico

La crisis de 1973, provocada por las interrupciones en el suministro mundial de petróleo, estimuló el desarrollo de una amplia literatura que ha investigado la relación entre los precios del petróleo y las variables macroeconómicas, especialmente en los Estados Unidos y los países europeos, desde varios enfoques y metodologías (Mork, 1990, Raymond y Rich 1997).

Hamilton (1983) analiza la relación entre los choques del precio del petróleo y las recesiones ocurridas en los Estados Unidos en el periodo 1949:2-1972:4. Utiliza una serie trimestral de las tasas de crecimiento de la economía norteamericana en términos reales y del precio del petróleo en términos nominales. Aplica un modelo de vectores auto regresivos (VAR) de seis variables, basado en Sims (1980). Encuentra que todas las recesiones menos una fueron precedidas por incrementos en el precio del petróleo. Mork (1989) realiza una extensión del trabajo de Hamilton (1983), incluyendo el precio del petróleo en un modelo de la economía Norteamericana con datos trimestrales entre 1949:1 y 1988:2. Observa una correlación negativa y asimétrica entre los incrementos en el precio del petróleo y el PIB de ese país.

Raymond y Rich (1997) investigan la relación entre los choques del precio del petróleo y las fluctuaciones del ciclo económico, para la economía de los Estados Unidos en el periodo 1951:1-1995:3 (series trimestrales). Critican los estudios previos basados en modelos lineales, al generar una correspondencia clara entre las dos variables. En su lugar, utiliza el modelo de cambio de régimen de Markov, propuesto por Hamilton (1989), para examinar la capacidad del precio del petróleo para generar cambios de régimen en la tasa de crecimiento promedio del PIB y predecir la transición entre los ciclos económicos; estos ciclos están caracterizados por cambios recurrentes entre estados de crecimiento positivo (expansión) y estados de crecimiento negativo (recesión). Observan que los ciclos económicos están caracterizados por cambios recurrentes entre estados de crecimiento positivo y estados de crecimiento negativo, y obtienen evidencias de que los choques en el precio del petróleo se transmiten a la economía de Estados Unidos a través de la generación de fases de bajo crecimiento del PIB.

Hamilton (2000) analiza la relación entre los choques del precio del petróleo y el crecimiento del producto de los Estados Unidos en el periodo 1971-1998. Observa que los incrementos en el precio de este producto generan un impacto negativo significativo en las tasas de crecimiento del PIB del país. Lo confirma también su estudio anterior (Hamilton 1983), donde las recesiones ocurridas en los Estados Unidos desde la postguerra hasta la década de los ochenta estuvieron antecedidas por un incremento en los precios del petróleo; mientras que las caídas no tuvieron un impacto significativo en el producto de este país, lo que refuerza la tesis de asimetría en la relación entre ambas variables. Adicionalmente, sugiere que los choques del precio del petróleo generan impactos negativos en el empleo y salarios reales.

Clements y Krolzig (2001) continúan con el estudio de Raymond y Rich (1997), estudiando la relación entre el precio del petróleo y las asimetrías de los ciclos económicos de los Estados Unidos, utilizando el modelo de cambio de régimen de Markov popularizado por Hamilton (1989). Analizan una serie de datos trimestrales del producto interno de los Estados Unidos y los precios reales del petróleo que corresponde al periodo 1952:1 a 1999:4 deflactados por el deflactor implícito del PIB (precios de 1996). Las series son aplicadas en logaritmos y transformadas en primeras diferencias. Definen tres regímenes (recesión y expansión dividida en dos, una normal y otra de rápida recuperación). Observan que los estados de expansión y contracción del modelo de cambio de régimen de Markov corresponden con las

fases del ciclo establecidos por NBER, especialmente con los estados de expansión. Sus resultados coinciden ampliamente con los de Raymond y Rich (1997), donde los precios del petróleo no parecen ser la única explicación del cambio de régimen. Además, las asimetrías detectadas en el ciclo económico no parecen estar explicadas por los cambios en los precios del petróleo.

Para países de América Latina, existe escasa literatura que analice el efecto de los choques en el precio del petróleo sobre el ciclo económico. Perilla (2010) observa un impacto positivo de los precios del petróleo sobre el crecimiento económico de Colombia, para el periodo 1990-2009. Sin embargo, los incrementos del precio del petróleo tienen efectos negativos en el tipo de cambio, lo que promovió las importaciones tanto de bienes de consumo como de capital y, a la vez, afectó negativamente a las exportaciones, con el consiguiente deterioro de la balanza comercial.

Alarcón, Molero y Pérez (2016) estudian el impacto de los *shocks* del precio del petróleo en la actividad económica y la tasa de inflación de Brasil, Colombia y Perú, para el periodo 1991:01-2014:01 (series trimestrales). Observan un fuerte efecto positivo entre los incrementos del precio del petróleo y la inflación y un significativo efecto negativo en el crecimiento económico para Brasil. Estos resultados son consistentes con la literatura respecto a que los países importadores netos de petróleo, como efecto de las subidas de los precios del petróleo, registran incrementos de las tasas de inflación, incrementos en los costos de producción y reducción en la inversión. Para Colombia, encuentran incrementos en el crecimiento económico, luego de un alza en el precio del petróleo. En el caso de Perú, observan un efecto positivo entre la inflación y el incremento en el precio del petróleo.

Camacho y Pérez Quiroz (2017) analizan la relación entre los choques y el crecimiento del producto en siete países exportadores de petróleo de América Latina: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú y Venezuela. Aplican el estudio para el periodo 1993-2009, con base en datos trimestrales del producto y de los precios del petróleo. Hacen referencia a otros autores como Izquierdo (2008) y Osterholm y Zettelmeyer (2007), que también habían evidenciado cómo los choques de precios de las materias primas generan no linealidades en el comportamiento del PIB. Su investigación encuentra que los cambios en los precios de las materias primas producen una reacción no lineal en el crecimiento del producto para los siete países latinoamericanos.

En el caso de la economía ecuatoriana, Paladines (2017) analiza el efecto del precio del petróleo en el producto per cápita para el país durante el periodo 1980-2015, usando metodologías de vectores autoregresivos (VAR). Encuentra que un choque positivo en el precio del petróleo genera un impacto positivo en el PIB per cápita durante los dos periodos siguientes, regresando posteriormente al nivel inicial antes del choque. Fernández y Lara (2006) señala que la economía ecuatoriana es muy vulnerable a los choques externos, siendo el precio del petróleo el más importante.

3. MARCO METODOLÓGICO. MODELOS DE REGRESIÓN CON EL CAMBIO DE RÉGIMEN DE MARKOV

Las variables económicas están sometidas a episodios en los cuales el comportamiento de la serie presenta cambios dramáticos. Estos cambios son especialmente apreciables en variables macroeconómicas o financieras, como resultado de guerras, pánicos financieros, cambios significativos en las políticas públicas o cambios dramáticos en las condiciones financieras (Hamilton, 1989).

La mayor parte de los trabajos de investigación que han caracterizado la naturaleza de la tendencia de largo plazo del PIB y su relación con el crecimiento económico se basan en modelos en donde se asume una tendencia lineal en el crecimiento económico (diferencia de logaritmos del PIB). Autores como Beveridge y Nelson (1981), Nelson y Plosser (1982), Cuddington (1992) y Campell y Mankiw (1987) utilizaron modelos de series de tiempo ARIMA y ARMA alrededor de una tendencia determinista. Harvey (1985), Watson (1986) y Clark (1987) basaron sus análisis en modelos estructurales de componentes lineales no observados. King, Plosser, Stock y Watson (1987) utilizan por primera vez métodos de cointegración de Engle y Granger (1987) para analizar la relación entre el producto y los ciclos económicos (Hamilton, 1989). Agenor (2000) estudia las fluctuaciones macroeconómicas aplicando filtros de Hodrick-Prescott (1997), Baxter King (1995). En los análisis de series de tiempo, se había constatado que los parámetros de la regresión no eran constantes en el tiempo y existían cambios estructurales que dividían los periodos de la serie en distintos regímenes con parámetros diferentes.

La existencia de no linealidades en los modelos económicos se hizo latente en la literatura a partir de la década de los ochenta, lo cual llevó al desarrollo de modelos como el cambio de régimen de Markov, para analizar variables económicas que registran cambios de régimen o de estado en los parámetros. Autores como Neftci (1984), Stock (1987), así como Kim y Nelson (2000), observan la existencia de no linealidades y asimetrías en las variables y los ciclos económicos. Hamilton (1989) extiende el trabajo de Neftci (1984), aplicando el modelo de cambio de regímenes de Markov de Goldfeld y Quandt (1973), bajo el supuesto de que el crecimiento del PIB sigue un proceso estacionario no lineal que puede estar sujeto a cambios discretos en su régimen (episodios en los que el comportamiento dinámico de la serie es notablemente diferente).

Los modelos de regresión con el cambio de régimen de Markov fueron introducidos en la econometría por Quandt (1972), quien investiga los procesos de series de tiempo, en los cuales los datos pueden presentar cambios estructurales y los parámetros pueden cambiar en los diferentes tramos de la serie. Observa que pueden existir regímenes o estados no conocidos que son caracterizados por parámetros diferentes, donde los cambios o la transición entre ambos estados están gobernados

por un proceso de Markov¹. Posteriormente, Golfeld y Quandt (1973) aplican este modelo para el mercado de vivienda en los Estados Unidos, estableciendo las ecuaciones de oferta y demanda e incluyendo las variables de tasa de interés hipotecaria y los saldos de depósitos en los bancos. Observan que una serie de tiempo que registra cambios de regímenes puede modelarse como un proceso de cadena de Markov y es posible realizar inferencia sobre los parámetros para cada régimen, mediante la maximización de la función verosimilitud.

El método de cambio de régimen de Markov permite modelar series de tiempo que registran cambios estructurales a lo largo del tiempo. Es posible considerar que estos cambios son el resultado de un proceso aleatorio que puede ser representado por una variable no observada, un suceso denominado régimen o estado, en el cual se encuentra la serie de tiempo definida como s_t . Esta variable puede tomar solo valores discretos, por ejemplo: 0, 1, 2, cada uno de los cuales representa un régimen o estado. El modelo permite encontrar distintos «estados» en la historia de las series, con una duración prolongada que muestre finalmente ciclos largos en la serie de datos. La transición entre los estados encontrados se refleja en cambios discretos que se determinan a través de cadenas de Markov, cuya finalidad es incorporar la probabilidad condicional de cambio de un estado a otro, donde la probabilidad del siguiente suceso depende solamente del suceso inmediatamente anterior y por tanto es independiente de la historia de esa variable (Margalef, Miret-Artés y Outerelo Domínguez 2014).

El modelo de cambio de régimen de Markov para series de tiempo puede ser expresado —formalmente siguiendo a Neftci (1984), Hamilton (1989, 2005), Kim y Nelson (2000)— como un proceso autoregresivo en donde se registran cambios en los parámetros:

$$\begin{aligned} y_t &= \phi_{s_t} y_{t-1} + \varepsilon_t \\ \varepsilon_t &\sim i. i. d N(0, \sigma^2) \end{aligned} \tag{1}$$

El valor del estado s_t se reevalúa de periodo en periodo a través de cadenas de Markov. En estas, se indica la probabilidad condicional de estar en el estado j en el periodo t , luego de haber estado en el régimen i en el periodo $t - 1$. Estas probabilidades son representadas a través de matrices de Markov. El componente ϕ_{s_t} son los parámetros del modelo para cada régimen; si existen varios regímenes, cada uno de ellos tendrá parámetros diferentes ϕ_{s_t} ; finalmente el componente ε_t son los errores independientes, con media cero y varianza definida.

La estimación de los parámetros que caracterizan la serie en los diferentes regímenes o estados en la que se sitúa la economía permite conocer, por ejemplo,

¹ Propuesto por el ruso Andréi A. Markov (1856-1922), las cadenas de Markov modelan una secuencia de variables aleatorias que corresponden a los estados de un determinado sistema, de tal manera que el estado en un momento depende solo del estado en el momento anterior (Ching y Ng 2006).

si la tasa de crecimiento promedio de la economía se encuentra en un régimen de crecimiento o en una fase de decrecimiento.

3.1. Inferencia sobre los regímenes

A través de un modelo de Markov, se pueden estimar los regímenes o estados en los que se encuentra la serie, lo cual permite conocer, por ejemplo, si la economía se encuentra en un régimen de crecimiento o decrecimiento, o si el petróleo se encuentra en una fase de precios elevados o de precios bajos, si el tipo de cambio de una divisa se encuentra apreciada o depreciada, etc. La estimación de los regímenes se realiza a partir de una función de probabilidad condicional que depende de la observación, sobre la cual se busca estimar los parámetros y la resolución de la función de verosimilitud².

Goldfeld y Quandt (1973) observan que los regímenes son desconocidos y no observables directamente de la información disponible, por lo cual es necesario hacer inferencia sobre ellos, considerando que fueron generados por una cadena de Markov. Según Kim y Nelson (2000), es posible realizar inferencias sobre los regímenes utilizando toda la información disponible del modelo. Estas inferencias sobre los regímenes se denominan «probabilidades suavizadas» (*smoothed probability*). Según Raymond y Rich (1997), las probabilidades filtradas pueden calcularse realizando iteraciones hacia atrás para los periodos hasta T .

3.2. Matriz de transición de regímenes

La matriz de transición permite conocer la probabilidad de que un régimen permanezca en su mismo estado y la probabilidad de que se produzcan transiciones hacia otro estado. Aplicados al ciclo económico, este resultado es relevante para definir los estados de crecimiento o decrecimiento de la economía, lo que permite determinar los momentos en los cuales la política pública debe incentivar la economía para mantener el crecimiento o incentivar un cambio de estado de crecimiento negativo a uno positivo.

Hamilton (1989) define que, si un régimen $s_t = j$ puede tomar un valor determinado j , es posible construir una función de probabilidad condicional que dependa de su valor inmediatamente anterior, s_{t-1} , y de otras variables y_{t-1} y su historia, que pueden incluirse en el modelo:

$$P\{s_t = j | s_{t-1} = i, s_{t-2} = k, \dots, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots\} = Pr\{s_t = j | s_{t-1} = i\} = p_{ij} \quad (2)$$

² Ver anexo 1 para una explicación teórica sobre las cadenas de Markov y la inferencia óptima de los parámetros.

Este proceso se puede describir como una cadena de Markov con probabilidades de transición.

$$\{p_{ij}\} i, j = 1, 2, \dots, N$$

La probabilidad de transición definida p_{ij} da la probabilidad de que el estado i se presente luego del estado j , en donde todas las probabilidades deben sumar la unidad para que el proceso sea consistente ($p_{i2} + p_{i3} + p_{iN} = 1$).

Estas probabilidades pueden ser ordenadas en una matriz de dimensiones $(N * N)$, de la siguiente forma:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{N1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1N} & \cdots & p_{NN} \end{bmatrix}$$

Esta matriz muestra la probabilidad de que un estado transite hacia otro o que permanezca en el mismo. En el caso de estados de una economía, la matriz de transición permite conocer la probabilidad de que, en un momento dado de la serie, la economía se encuentre en una fase de crecimiento o que cambie a una fase de recesión.

4. DATOS Y MODELO

La investigación aplica el modelo a una serie de datos trimestrales del precio real del petróleo marcador WTI, obtenido de la base de datos de materias primas del Banco Mundial y del producto interno bruto de Ecuador, para el periodo 1991:03 a 2018:04, obtenido de la información disponible en la base de materias primas del Banco Mundial³.

En esta investigación, se utilizaron dos series de tiempo: una serie trimestral para el periodo 1991:01-2018:04 del PIB real a precios de 2007, según la última Metodología de Cambio de año base realizada por el Banco Central (BCE, 2015); la segunda, una serie trimestral de precios reales del petróleo (marcador West Texas Intermediate, WTI) desde 1991:01 a 2018:04, obtenida de la base de información del Banco Mundial⁴. Las dos series temporales se transformaron en logaritmos.

³ WTI es la abreviatura empleada para identificar el crudo marcador West Texas Intermediate. El precio real de un mes A es igual al precio nominal del mes A por el IPC del mes base (dato de último mes publicado), dividido para el IPC del mes A. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/PreciosPetroleo062010.pdf>.

⁴ El Banco Mundial dispone de una importante base histórica mensual desde 1960:01, con precios de 71 materias primas (energéticas, no energéticas y metales) comercializadas a escala global en los mercados internacionales. El marcador West Texas Intermediate (WTI) sirve como marcador para el precio del crudo ecuatoriano en los mercados internacionales.

El primer paso es comprobar las propiedades de las series de datos utilizadas. El modelo de cambio de régimen de Markov sigue un proceso no lineal estacionario, lo que implica que la tendencia del PIB se considera estacionaria. Para ello se realizan pruebas de raíz unitaria (Dickey Fuller aumentado y Phillips-Perron⁵), que permiten determinar la estacionalidad de las primeras diferencias del logaritmo de las series utilizadas.

Tabla 1.
Test en niveles y diferencias

	Dickey-Fuller aumentado		Phillips-Perron	
	Niveles	Diferencias	Niveles	Diferencias
PIB	-2.0685(p-value 0.5482)	-4.1439(P-value 0.01)	-4.0812(p-value 0.7976)	-84.869(p-value 0.01)
WTI	-1.881(p-value 0.626)	-5.7658(p-value 0.01)	-12.618 (p-value 0.3852)	-92.156 (p-value 0.01)

Elaboración: autores

Los valores estadísticos obtenidos para la serie del logaritmo del PIB y del precio WTI están por debajo de los valores críticos, lo que nos permite aceptar la hipótesis nula y afirmar que la serie tiene raíz unitaria y, por tanto, no es estacionaria. Al aplicar primeras diferencias a ambas series de la serie de tiempo, se obtiene su tasa de crecimiento⁶. Las pruebas de raíz unitarias rechazan la hipótesis nula, lo que demuestra que las series en diferencias son estacionarias con media y varianza constantes. Ambas pruebas nos permiten concluir que ambas series son integradas de orden uno [I(1)] y que siguen un proceso de Markov de tendencia estacionaria (Camacho, 2011).

4.1. Modelo de cambio de régimen de Markov para la economía ecuatoriana

A continuación, presentamos el modelo de cambio de régimen aplicado a la economía ecuatoriana, que incluye como variable exógena el precio del petróleo, tomando como referencia los modelos de Hamilton (1989), Raymod y Rich (1997) y Kim (2000), Nelson (1999):

⁵ Estos métodos prueban la existencia de raíz unitaria sobre un polinomio autorregresivo para cada variable del modelo, a partir de dos hipótesis. La hipótesis nula, H_0 , nos dice que la serie presenta una raíz unitaria, es decir, la serie no es estacionaria. Bajo la hipótesis alternativa, H_1 , la serie no presenta raíz unitaria, y, por tanto, es estacionaria.

⁶ Al estar las series en logaritmos y aplicar a la serie de tiempo las primeras diferencias, se obtiene la tasa de crecimiento. En el caso del PIB, $\Delta LPIB_t = (LPIB_t - LPIB_{t-1})$. En el caso del precio del petróleo, $[\Delta LWTI_t = (LWTI_t - LWTI_{t-1})]$.

$$\begin{aligned} \Delta y_t &= \Delta x_t \beta s_t + \varepsilon_t \\ \varepsilon_t &\sim N(0, \sigma^2) \\ t &= 1, 2, \dots, T \end{aligned} \tag{3}$$

La especificación definida corresponde a un modelo de series de tiempo con cambio de régimen, en donde Δy_t corresponde a las primeras diferencias del logaritmo del producto interno bruto en términos reales (crecimiento económico); Δx_t a las primeras diferencias del logaritmo del precio del WTI en los mercados internacionales (variación en el precio del petróleo); s_t define los regímenes no observados, y ε_t corresponde a los errores normalmente distribuidos con media cero y varianza definida.

Respecto a la definición de regímenes, a partir de las propuestas por Hamilton (1989) y Raymond y Rich (1997), se establecen dos: el primero de ellos considera que la economía puede encontrarse en una fase de crecimiento positivo o expansión ($s_t = 1$); el segundo, que la economía se encuentra en una fase de crecimiento negativo o recesión ($s_t = 2$). Además, al igual que Raymond y Rich (1997), se incluye el precio del petróleo dentro del modelo, con el fin de establecer el efecto que tiene sobre los dos regímenes para la economía ecuatoriana.

La estimación se efectuó con el software estadístico R⁷. La estimación de los parámetros se obtuvo con base en la resolución del algoritmo esperanza-maximización (EM) desarrollado por Dempster, Laird y Rubin (1977) para encontrar estimadores de máxima verosimilitud de parámetros en modelos probabilísticos que dependen de variables no observables. Además, la inferencia de la probabilidad de ocurrencia de cada régimen se realizó con base en los filtros propuestos por Hamilton (1989).

La tabla 2 presenta los resultados del modelo aplicado a la economía ecuatoriana, en el cual se incluye la variable «precio del petróleo» (LWTId) como variable explicativa, para el periodo de análisis 1991:1-2018:4 (series trimestrales); las desviaciones estándar de los estimadores se muestran entre paréntesis.

Tabla 2.

Estimadores de EM para el modelo cambio de régimen de Markov para el PIB de la economía ecuatoriana

	Régimen 1 (expansión)	
	$(s_t=1)$	
	Coefficiente	Desv. Est.
Intercepto	0.9459	(0.1227)

⁷ El paquete utilizado fue MSwM, el cual cuenta con un grupo de funciones para el modelo de Markov.

Régimen 1 (expansión)		
$(s_t=1)$		
	Coefficiente	Desv. Est.
LWTId	0.0126	(0.0110)

Régimen 2 (recesión)		
$(s_t=2)$		
	Coefficiente	Desv. Est.
Intercepto	-0.1411	(0.6430)
LWTId	-0.0284	(0.0182)

Elaboración: autores

Estos resultados permiten observar que la economía ecuatoriana registra estados de expansión y contracción que se intercambian entre ellos y sugieren que las variaciones del precio del petróleo tienen un efecto sobre la tasa promedio de crecimiento trimestral del producto interno bruto. Los parámetros obtenidos muestran que la variable explicativa (Δx_t) generó estimadores positivos para el régimen de expansión ($s_t = 1$) y estimadores negativos para el régimen de contracción ($s_t = 2$). El modelo generó un estimador positivo de 0.0126 para los estados de expansión de la economía ecuatoriana, lo que significa que un incremento en el precio del petróleo del 1 % genera una tasa de crecimiento trimestral positiva de 1.26 % en el PIB, en promedio. En el caso de los regímenes de contracción ($s_t = 2$), se obtuvo un estimador negativo de -0.0284: un incremento en el precio del petróleo tiene un efecto negativo sobre la caída del PIB durante este estado de recesión. Es decir, contrarresta o atenúa la caída del PIB trimestral del Ecuador en un 2.84 % en promedio durante estos estados.

La matriz de transición entre los estados definidos para el modelo —los cuales se ha demostrado que están relacionados con los cambios en los precios del petróleo— se muestra a continuación:

Tabla 3.
Matriz de transición de estados

	Regime 1	Regime 2
Regime 1	0.91954394	0.3149489
Regime 2	0.08045606	0.6850511

Elaboración: autores

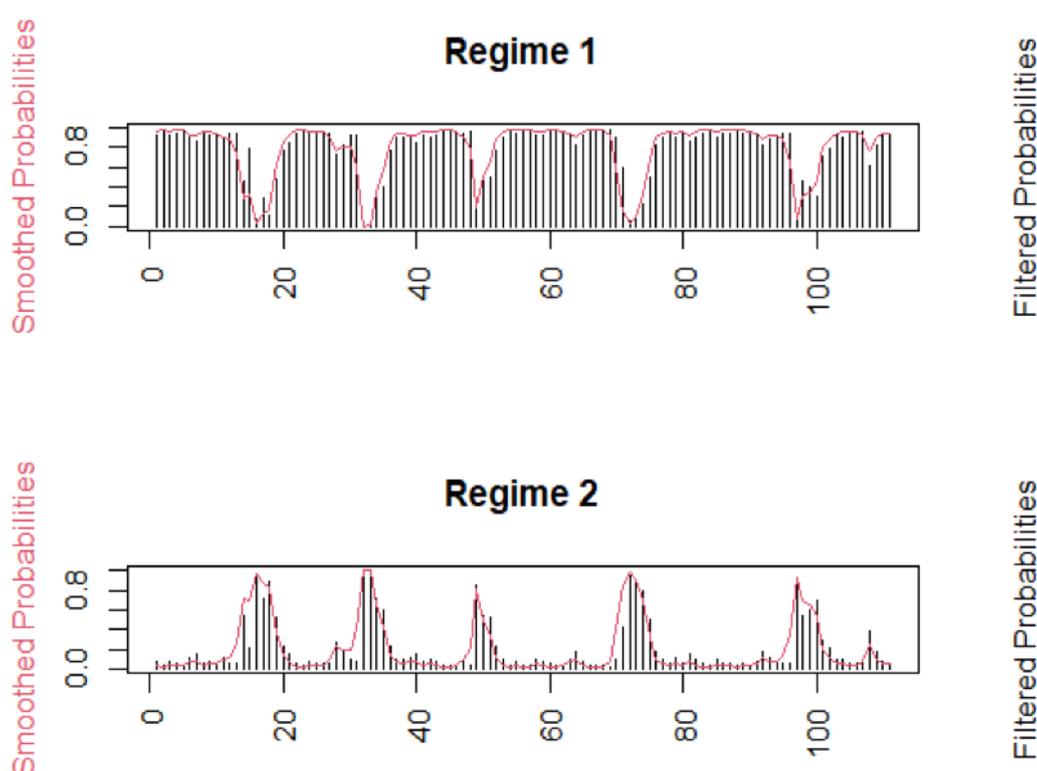
Los resultados obtenidos permiten establecer que, para el periodo analizado, cuando la economía entra en un estado, mantiene alta persistencia en ese. La probabilidad de que la economía permanezca en el estado $s_t = 1$ (régimen 1 de expansión) es 0.9195, mientras que la probabilidad de que cambie de estado es 0.0804. Si la economía se encuentra en el estado $s_t = 2$ (régimen 2 de contracción), la probabilidad

de que permanezca en el estado es 0.6850 y de que cambie de estado es 0.3149. Estos resultados permiten determinar que la probabilidad de que la economía se mantenga en un estado de expansión es mayor a que cambie a un estado de contracción; sin embargo, la probabilidad de cambio de un estado de expansión a uno de contracción es mayor (0.31 vs. 0.08).

Este resultado se constata igualmente a través de un análisis gráfico de probabilidades de permanencia en un determinado régimen o de transición hacia el otro régimen (siguiente página).

Gráfico 1.

Gráfico de probabilidades de régimen $s_t = 1$ (expansión) y régimen $s_t = 2$ (contracción), datos trimestrales



Elaboración: autores

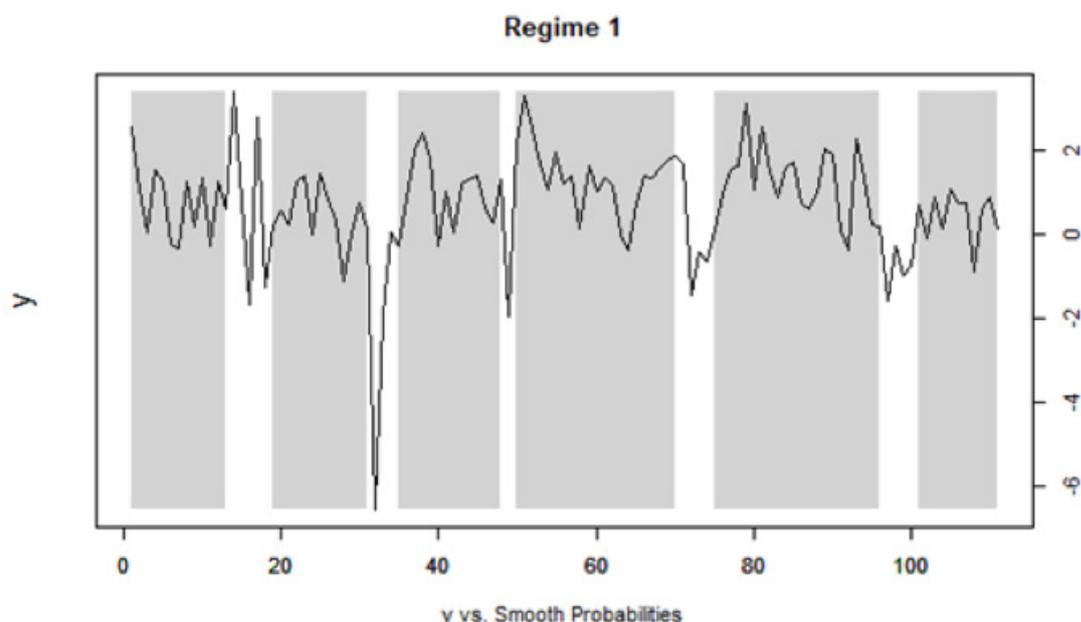
El gráfico muestra en el panel superior las probabilidades de que los trimestres del periodo 1991:1-2018:4 se encuentren en un régimen de expansión (régimen 1) y el panel inferior muestra las probabilidades de que un trimestre específico se encuentre en un régimen de contracción (régimen 2). El modelo de cambio de régimen de Markov para la economía ecuatoriana demuestra que existe una mayor probabilidad de ocurrencia de que el producto se encuentre en un régimen de expansión, de manera más extensa y recurrente que los estados de contracción. Este resultado se diferencia

de los observados para países desarrollados por Neftci (1982), Hamilton (1989) y Raymond y Rich (1997).

Finalmente, en el gráfico 2 se muestran los estados de la economía ecuatoriana que han sido obtenidos con el modelo de cambios de régimen de Markov. En él se pueden visualizar las tasas de variación trimestral del PIB (Δy_t) y los regímenes inferidos por el modelo. Las zonas oscuras muestran la presencia del régimen 1 (expansión); las zonas claras, la presencia del régimen 2 (contracción), lo cual coincide en la mayoría de los casos con las zonas de crecimiento positivo y negativo del PIB durante el periodo analizado.

Gráfico 2.

Estados de la economía ecuatoriana obtenidos con el modelo de cambio de régimen de Markov (trimestres)



Elaboración: autores

El primer estado de crecimiento negativo evidenciado en el modelo abarca el periodo 1994:2-1995:4, cuando se produce una fuerte caída en el consumo final que se ve reflejada en contracciones en la construcción y el comercio (BCE Cuentas trimestrales, marzo 2000). Este periodo presenta fuertes altibajos que coinciden también con una fuerte volatilidad en el precio del petróleo y que parece afectar al crecimiento económico del siguiente trimestre (ver anexo 2), acentuando la recesión cuando el precio del petróleo cae y contrarrestando esta caída cuando el precio del petróleo sube. El segundo estado de recesión detectado se produce durante 1998:4-1999:4, consecuencia de la profunda crisis en el sistema financiero y cambiario que atravesó el país (Orellana, 2011). Esta provocó una contracción generalizada en todos los componentes de la demanda, con reducciones en la formación bruta de capital

fijo (FBKF) cercanas al 25 % y al 15 % en cada uno de los trimestres señalados. Esta caída afectó al *output* de todos los sectores económicos, siendo los más golpeados la construcción, el comercio y los servicios financieros (BCE Cuentas trimestrales, marzo 2000). No obstante, el incremento en el precio del petróleo durante estos 4 trimestres ayudó a contrarrestar la caída del PIB, plasmándose en una reducción en las exportaciones del 3 % frente al 35 % en las importaciones, generándose un superávit comercial del 6 % del PIB (Orellana, 2011).

En 2003:2, el modelo de cadenas de Markov marca un nuevo ciclo recesivo, que coincide nuevamente con una reducción en el precio del petróleo durante los dos primeros trimestres de 2003, acompañado por una reducción en la demanda interna provocada por una reducción del consumo público, seguido de una reducción en el consumo privado (BCE Cuentas trimestrales, diciembre 2020). El cuarto ciclo recesivo detectado por el modelo abarca el periodo 2008:4-2009:4. Este régimen coincide con la crisis financiera internacional iniciada en 2008, que afectó negativamente al precio del petróleo y que presentó una fuerte caída desde el tercer trimestre de 2008 hasta el primer trimestre de 2009. El último régimen recesivo se produce en el periodo 2015:1-2016:1. El precio del petróleo presenta una caída desde el tercer trimestre del año 2014 y se prolonga hasta el cuarto trimestre de 2015, lo que lleva a una ralentización de la economía ecuatoriana (Vallejo-Mata et al 2019). No obstante, durante el segundo semestre de 2015, se produce una corrección positiva en el precio del petróleo que permite atenuar la caída del PIB en los dos trimestres siguientes de 2015.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de investigación ha tenido como objetivo analizar la naturaleza del crecimiento de la economía ecuatoriana en el largo plazo y su relación con los cambios en el precio de una materia prima como el petróleo. El crecimiento a largo plazo es un aspecto fundamental para los países en desarrollo, considerando que el bienestar de su población depende en gran medida de cuánto crecimiento logren alcanzar y de lo sostenido que este sea en el tiempo. Este aspecto es aún de mayor relevancia para Ecuador, debido a que el país mantiene un esquema monetario extremo como la dolarización y una elevada dependencia en las exportaciones de este *commodity*.

La revisión de la literatura sobre el tema, tanto para países desarrollados como en desarrollo, muestra que el crecimiento económico no es lineal, por lo que análisis con métodos lineales no permiten una comprensión completa en presencia de cambios en las variables de estudio. Es por eso por lo que, en la presente investigación, se han abordado modelos no lineales que permitan generar resultados más ajustados para variables que registran cambios dramáticos como el análisis de los ciclos económicos y las materias primas. Para ello se utilizó el modelo de cambio de régimen de Markov empleado por Hamilton (1989), donde se introduce el efecto de los cambios en los precios del petróleo, siguiendo a Raymond y Rich (1997). Este modelo ha sido

ampliamente utilizado para el estudio de ciclos económicos y de materias primas, debido a su capacidad de explicar el comportamiento de variables que demuestran cambios importantes en su tendencia de largo plazo.

El modelo aplicado permite obtener resultados relevantes respecto a la relación del petróleo y la tendencia de crecimiento de largo plazo de la economía ecuatoriana. Se pudo observar que el precio del petróleo tiene un efecto directo sobre el crecimiento del PIB. Cuando la economía se encuentra en un régimen de expansión, un incremento del precio del petróleo del 1 % tiene un efecto positivo del 1.26 % en promedio sobre el crecimiento del PIB, y un efecto inverso cuando la economía está en un régimen de contracción; una variación positiva en el precio de petróleo del 1 % genera un efecto contrario sobre la caída del PIB en un 2.80 % en promedio para el periodo considerado. Este resultado demuestra un efecto de atenuación de la caída del PIB en etapas de recesión. Los resultados obtenidos permiten observar que el modelo de cambio de régimen aplicado en esta investigación generó una clara definición de los estados o regímenes en los cuales puede encontrarse la economía ecuatoriana.

También ha sido posible observar cambios recurrentes entre estados de crecimiento y estados de contracción de la economía ecuatoriana. La economía muestra un dinamismo que le permite tener una alta probabilidad de permanecer en fases de expansión y una alta probabilidad de salir de fases de contracción. En el modelo, se observa que los estados de expansión son más frecuentes y extensos que los estados de contracción. Sin embargo, los estados de contracción son de mayor intensidad que los estados de expansión, lo que afecta negativamente a la tendencia de crecimiento de largo plazo de la economía ecuatoriana. Bajo esta dinámica, se torna relevante para el país alcanzar un consenso respecto a las estrategias y políticas públicas que permitan incrementar el promedio de crecimiento de la economía y los mecanismos anticíclicos que permitan contrarrestar la intensidad de las fases de contracción.

Esta investigación ofreció una aplicación de modelos no lineales para el análisis de variables en la economía ecuatoriana, obteniendo resultados consistentes. Los resultados abren un camino de investigación futura, donde se pueden analizar los canales de transmisión del precio del petróleo sobre la economía ecuatoriana. Además, se puede considerar la utilización de variables adicionales como la inversión, el consumo privado, así como el gasto público, las exportaciones y su relación con los ciclos económicos, para alcanzar una mejor comprensión de la tendencia de largo plazo de la economía ecuatoriana.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón J., Molero J. y Pérez F. (2016). *The macroeconomic effects of oil shocks in three latinamerican economies*. Cuestiones Económicas. Banco Central del Ecuador.
- Agenor Pierre-Richard y Mc Dermont C., Prasard. (2000). *Macroeconomic Fluctuations in Developing Countries: Some Stylized Facts*. World Bank Economic Review.
- Bayancela A. (2016). *Analysis of business cycles in Ecuador (1997-2015): Classical Model & Markov Switching Model using Fixed and Two Stage varying transition probabilities*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Baxter M., y King R. (1995). *Approximate Band-Pass Filters for Economic Time Series*. NBER Working Paper 5022. National Bureau of Economic Research. Cambridge.
- Berveridge S. y Nelson Ch. (1981). *A new approach to Decomposition of Economic Time Series into Permanent and Transitory Components with particular Attention to Measurement of the Business Cycles*. Journal of Monetary Economics.
- Bowman C. y Husain A. (2004). *Forecasting Commodity Prices: Futures Versus Judgment*. International Monetary Fund.
- Camacho. (2011). *Markov-switching models and the unit root hypothesis in real US GDP*. Economics Letters. 112.2. 161-164.
- Campbell J. y Mankiw G. (1987). *Is Consumption Too Smooth?*. NBER. Working Paper.
- Campbell J. y Mankiw G. (1987). *Permanent and Transitory Components in Macroeconomic Fluctuations*. American Economic Review.
- Camacho y Perez-Quiroz. (2014). *Commodity Prices and the Business Cycle in Latin America: Living and Dying by Commodities*.
- Cashin, P. y McDermott C. (2002). *The Long-run Behavior of Commodity Prices: Small Trends and Big Variability*. IMF Staff Papers. Vol. 49(2).
- Ching W. K. y Ng M. K. (2006). *Markov chains. Models, algorithms and applications*.
- Clark P. (1987). *The Cyclical Component of US economy*.
- Cooley, T. y Prescott E. (1995). *Economic growth and business cycles. Frontiers of business cycle research 1*.
- Clemens M. y Krolzig H. (2001). *Can oil shocks explain asymmetries in the US Business Cycle?* Empirical economics.
- Cuddington J. (1992). *Long-run trends in 26 primary commodity prices: A disaggregated look at the Prebish-Singer Hypothesis*. Journal of Development Economics.
- Dempster A. Laird y Rubin D. (1977). *Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm*. Journal of the Royal Statistical Society.
- Dornbusch R. y Fischer S. (1994). *Macroeconomía*. McGraw-Hill Higher Education.
- Engle R. y Granger C. (1987). *Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing*, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 251-27.
- Fernández, G. y Lara, C. (2006). *Los Shocks Exógenos y el Crecimiento Económico*. Banco Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Golfeld S. y Quandt R. (1974). «A Markov Model for Switching Regressions», *Journal of Econometrics*, 1.
- Kaldor N. (1960). *Capital accumulation and economic growth, The theory of capital*. Palgrave Macmillan.

- Kalman R. (1960). *A new approach to a Linear Filtering and Prediction Problems*. Journal of Basic Engineering.
- Keynes J. (1936). *Teoría General del empleo, el interés y el dinero*. Fondo de Cultura Económica.
- Kim Ch. y Nelson Ch. *State Space Models with Régime Switching*. MIT Press, 2000.
- King R., Plosser Ch., Stock J. y Watson M. (1987). *Stochastic Trends and Economic Fluctuations*, NBER. Working Paper No. 2229.
- Kydland, Finn E. y Edward C. Prescott. (1990). «Business Cycles: Real Facts and Monetary Myth». Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly.
- Hamilton. (1983). *Oil and the Macroeconomy since World War II*. The Journal of Political Economy, Vol 91. The University of Chicago Press.
- Hamilton, *Time Series Analysis 1998*.
- Hamilton (1989), *A new approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle*, Econometrica, Volume 57.
- Hamilton J. (2000). *What is an oil shock*, National Bureau Of Economic Research. Cambridge.
- Hamilton J. (2005). *Regime Switching Models*. Palgrave Dictionary of Economics.
- Harvey A. (1985). *Trends and Cycles in Macroeconomic Time Series*. Journal of Business and Economic Statistics.
- Hodrik R. y Prescott E. (1997). *Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation*, Journal of Money, Credit and Banking, Vol. 29, No. 1.
- Izquierdo A., Romero R. y Talvi E. (2008). «Booms and Busts in Latin America: The Role of External Factors». Research Department Publication no. WP-631, Inter-American Development Bank, Washington, DC.
- Martin-Mayoral F. (2019). *Revisión histórica de los modelos postkeynesianos de crecimiento y distribución del ingreso*. FLACSO.
- Margalef Roig, J., Miret-Artés, S. y Outerelo Domínguez, E. (2014). *Probabilidad y Economía 3. Procesos estocásticos*. Sanz y Torres.
- Mitchell y Wesley C. (1927). *Business Cycles: The Problems and its Setting*. New York, Nber.
- Mork, K. «Business Cycles and Oil Price Fluctuations: Some Evidence for six OECD Countries». Central Bureau of Statistics, 43 (1989).
- Mork, K. «Oil and the Macroeconomy When Prices Go Up and Down: An Extension of Hamilton's Results». Journal of Political Economy 97. (1989). 740-44.
- Neftci S. (1984). *Are Economic Time Series Asymmetric over Business Cycle*. Journal of Political Economy.
- Nelson Ch. y Plosser Ch. (1982). *Trends and Random Walks in Macroeconomic time Series; Some evidence and Implications*, Journal of Monetary Economics.
- Orellana, M. (2011). *Hechos estilizados del ciclo económico de Ecuador: 1990-2009*. Universitas, (15), 53-84.
- Österholm, P. y Zettelmeyer J. (2007). *The Effect of External Conditions on Growth in Latin America*. Working paper, International Monetary Fund, Washington, DC.
- Paladines J. (2017). *Oil Price and Real GDP Growth of Ecuador: A Vector Autoregressive Approach*. Journal of Economics and Political Economy, Volume 4, Marzo 2017.
- Perrilla, J. (2010). *El impacto de los precios del petróleo sobre el crecimiento económico en Colombia*. Revista de Economía del Rosario. Bogotá.

- Quandt. (1972). *A new approach to estimating switching regressions*, Journal of the American Statistical Association.
- Raymond J. y Rich R. (1997). *Oil and the Macroeconomy: A Markov State-Switching Approach*. Journal of Money, Credit and Banking, 29, pp. 193-213.
- Sala I. Martin. *Apuntes de crecimiento económico*. Antoni Bosh Ed. 2000.
- Sichel D. (1987). *Business Cycle Asymetry: A Deeper Look*. Princeton University.
- Sims C. *Exogeneity and Causal Ordering in Macroeconomic Models, New Methods in Business Cycle Research*. Federal Reserve Bank of Mineapolis, Mineapolis. 1977.
- Sims C. (1980). *Comparison of Interwar and Postwar Business Cycles: Monetarism Reconsidered*. NBER Cambridge.
- Sims C., Waggoner D. y Zha T. (2006). *Methods for Inference in Large Multiple-Equation Markov-Switching Models*. Federal Reserve Bank of Atlanta, Working Papers.
- Stock J. (1987). *Measuring Business Cycle Time*. Journal of Political Economy.
- Taylor L. 1983. *Structuralist Macroeconomics*. Basic Books Inc.
- Vallejo-Mata J. P., Torres-Sánchez Y. A., Pinilla-Rodríguez D. E. y Moreno-Miranda C. A. (2019). *Ciclo económico y sector externo en el Ecuador, 2002-2017*. Revista Espacios 40(28), p. 26.
- Watson M. (1986). *Univariate Detrending Methods with Stochastic Trends*. Journal of Monetary Economics.

ANEXOS

Anexo 1.

La estimación de los parámetros de cada régimen puede realizarse bajo el supuesto de que cualquier observación de la serie puede ser generada por una función de distribución condicional que depende del régimen en el cual se encuentra la serie y los parámetros que caracterizan a este régimen. La función de densidad puede expresarse como una función de verosimilitud y su maximización permite obtener los parámetros.

La función de densidad que genera una observación y_t , condicionada a un régimen no conocido $s_t = j$, puede ser representada como:

$$f(y_t | s_t = j, x_t, Y_{t-1}, \theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{(y_t - c_1 - \phi_1 y_{t-1})^2}{2\sigma^2} \right] \quad (\text{A.1})$$

Esta función de densidad tiene la forma de una distribución normal con media y desviación estándar únicas, con lo cual se tiene una función de verosimilitud, donde x_t es el vector de variables exógenas, θ el vector de parámetros y Y_t que es el vector que contiene los rezagos de las variables endógenas (Goldfeld y Quandt 1973)⁸.

La variable s_t puede tomar únicamente valores discretos $\{1, 2, 3 \dots N\}$, entonces, si existen N diferentes regímenes, pueden existir N funciones de densidad diferentes, que pueden estar contenidas en un vector η_t . Si existen dos regímenes, entonces $N = 2$ y el vector de densidades puede ser representado por:

$$\eta_t = \begin{matrix} f(y_t | s_t = 1, x_t, Y_{t-1}, \theta) \\ f(y_t | s_t = 2, x_t, Y_{t-1}, \theta) \end{matrix} = \begin{matrix} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{(y_t - c_1 - \phi_1 y_{t-1})^2}{2\sigma^2} \right] \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{(y_t - c_2 - \phi_2 y_{t-1})^2}{2\sigma^2} \right] \end{matrix}$$

Hamilton (1989) señala que, en la estimación de los parámetros, es posible considerar que el régimen no observado s_t es generado por alguna distribución de probabilidad, en primera instancia no condicionada a ninguna variable más que su propio estado, la cual puede ser representada como:

$$P\{s_t = j | \theta\} = p_j \quad (\text{A.2})$$

Sin embargo, es necesario considerar que el régimen está también condicionado a y_t , por lo que la probabilidad conjunta puede expresarse como:

⁸ Se utiliza la expresión Y_t para representar el vector que contiene todos los rezagos de la variable endógena y para diferenciar de una observación individual y_t .

$$p(y_t | s_t = j; \theta) = f(y_t | s_t = j; \theta) * P\{s_t = j | \theta\} \quad (\text{A.3})$$

Una vez obtenidos los parámetros, es posible hacer inferencia sobre cual régimen produjo una observación y_t en cualquier momento t de la serie. La expresión obtenida se denomina «función de densidad conjunta condicional» (Hamilton 1989), tanto de la observación y_t como del estado no conocido s_t .

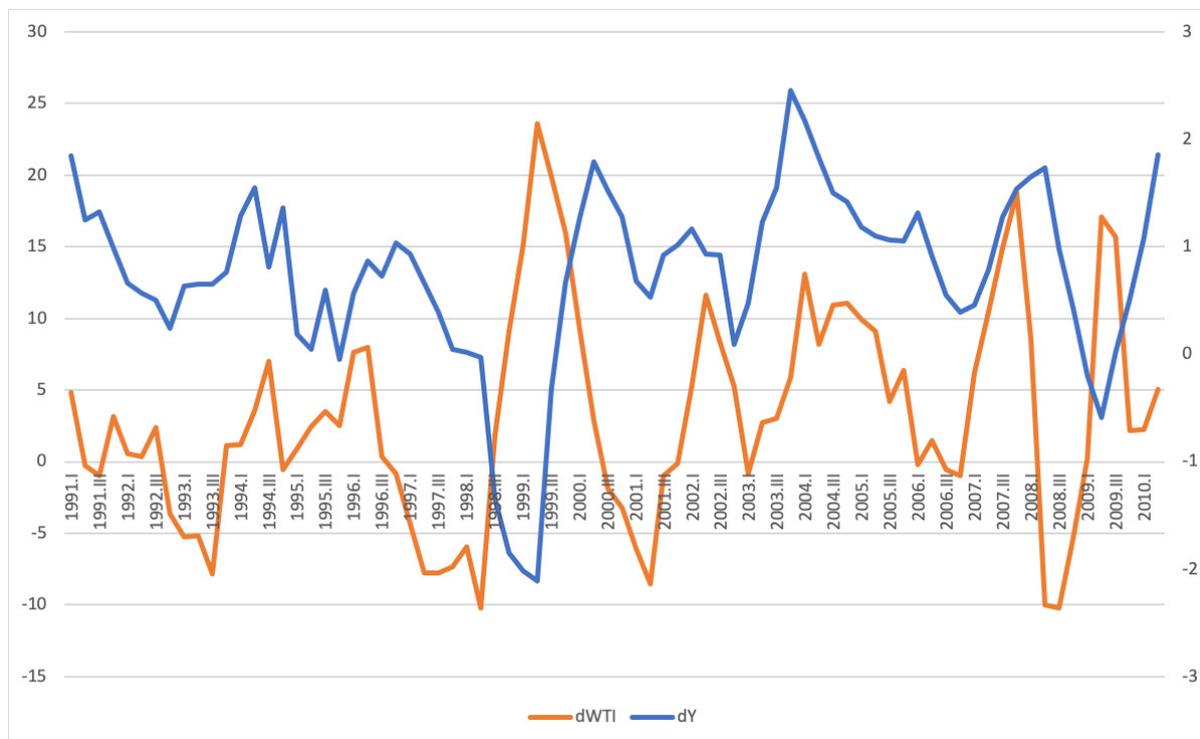
El proceso descrito hasta el momento fue construido considerando una estimación de los parámetros poblacionales para una única observación y_t en un régimen no conocido s_t ; al generalizar el proceso para todas las observaciones de una serie la función de verosimilitud, puede expresarse:

$$L(\theta) = \sum_{t=1}^T \log f(y_t | x_t, Y_{t-1}; \theta) \quad (\text{A.4})$$

Esta expresión representa la sumatoria para todas las observaciones de la serie de la función de verosimilitud expresada en logaritmo. La inferencia de los parámetros puede realizarse mediante la maximización de la función de verosimilitud respecto a los parámetros poblacionales (Goldfeld y Quandt 1973). La estimación de máxima verosimilitud puede resolverse mediante métodos numéricos aplicando el algoritmo EM desarrollado por Dempster, Laird y Rubin (1977), o también mediante el filtro desarrollado por Hamilton (1989) y Kim (1993).

Anexo 2.

Evolución del crecimiento del PIB real y el precio WTI real. Medias móviles t/t-4



Elaboración: autores