

---

Revista Gestión y Desarrollo Libre, Año 4 N° 7, 2019. p.p. 206 - 240  
ISSN 2539-3669  
Universidad Libre Seccional Cúcuta, Facultad de Ciencias Económicas,  
Administrativas y Contables y Centro Seccional de Investigaciones  
Aplicación de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR para medir el efecto de la  
variación de los precios del petróleo sobre el tipo de cambio en Colombia  
Laura Lizeth Guerrero Bueno  
Leonardo Javier Caraballo  
Eddy Johanna Fajardo Ortiz

## Aplicación de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR para medir el efecto de la variación de los precios del petróleo sobre el tipo de cambio en Colombia\*

Application of a Vector Autoregressive Model VAR to measure  
the effect of the variation in oil prices on the exchange rate in  
Colombia

Recibido: Junio 08 de 2018 - Evaluado: Septiembre 09 de 2018 - Aceptado: Diciembre 11 de 2018

Laura Lizeth Guerrero Bueno\*\*

Leonardo Javier Caraballo\*\*\*

Eddy Johanna Fajardo Ortiz\*\*\*\*

### Para citar este artículo / To cite this Article

Guerrero Bueno, L. L., Caraballo, L. J., & Fajardo Ortiz, E. J. (Enero-Junio de 2019).  
Aplicación de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR para medir el efecto de la  
variación de los precios del petróleo sobre el tipo de cambio en Colombia. *Revista Gestión y  
Desarrollo Libre*, 4(7), (206-240).

\* Artículo inédito. Artículo de investigación e innovación. Artículo de investigación. Proyecto de investigación formativa realizado en la Facultad de Economía de la universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga.

\*\* Economista por la Universidad Santo Tomás. Docente del Instituto Gran Colombiano. Email: lauguerrero\_923@hotmail.com.

\*\*\* Economista por la Universidad de Los Andes – Venezuela. Magister en Economía del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales por la Universidad de Los Andes (Uniandes-Bogotá), estudiante del Doctorado en Pedagogía de la Universidad de Los Andes - Venezuela, Profesor de la Universidad Santo Tomás. Email: leocaraballo@gmail.com.

\*\*\*\* Licenciada en Matemáticas por la Universidad Industrial de Santander. Magister en Estadística por la Universidad de los Andes – Venezuela, Doctora en Estadística por la Universidad Central de Venezuela, Profesora de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Email: efajardo@unab.edu.co.

## Resumen

Este artículo tiene por objetivo analizar el tipo de relación que existe entre la variación de los precios del petróleo y el comportamiento del tipo de cambio en Colombia para el período 2008-2015. Para ello, se utiliza la metodología de un modelo econométrico VAR para cuantificar el alcance, que tiene la variación de los precios del petróleo en el tipo de cambio en Colombia desde enero de 2008, hasta diciembre de 2015. Al analizar los efectos dinámicos de variables como la producción petrolera de la Organización de Países Exportadores de Petróleo, la producción de petróleo de Estados Unidos y los precios del petróleo sobre la Tasa Representativa del Mercado, se identifica la relación directa que existe entre los precios del petróleo y el tipo de cambio en el corto plazo.

**Palabras Clave:** Modelo Econométrico VAR, Precios del Petróleo, Tasa Representativa del Mercado

## Abstract

Este artículo tiene por objetivo analizar el tipo de relación que existe entre la variación de los precios del petróleo y el comportamiento del tipo de cambio en Colombia para el período 2008-2015. Para ello, se utiliza la metodología de un modelo econométrico VAR para cuantificar el alcance, que tiene la variación de los precios del petróleo en el tipo de cambio en Colombia desde enero de 2008, hasta diciembre de 2015. Al analizar los efectos dinámicos de variables como la producción petrolera de la Organización de Países Exportadores de Petróleo, la producción de petróleo de Estados Unidos y los precios del petróleo sobre la Tasa Representativa del Mercado, se identifica la relación directa que existe entre los precios del petróleo y el tipo de cambio en el corto plazo.

**Key words:** Model Econometric VAR, Oil Prices, Representative Market Rate

### SUMARIO

INTRODUCCIÓN. - ESQUEMA DE RESOLUCIÓN. - 1. Problema de investigación. - 2. Metodología. - 2.1 Definición de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR. - 2.2 Supuestos del modelo de Vectores Autorregresivos VAR. - 2.3 Ecuación General de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR. - 2.4 Identificación de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR. - 2.5 Estimación de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR. - 2.6 Función de impulso - respuesta en un modelo de Vectores Autorregresivos VAR. - 3. Plan de redacción. - 3.1 El tipo de cambio. 3.2 El tipo de cambio flexible. 3.3 Devaluación. - 3.4 Ley de oferta. - 4. Resultados de investigación. - 4.1

Selección de variables. - 4.2 Identificación de las series. - 4.2.1 Identificación de la serie Tasa Representativa del Mercado (TRM). - 4.2.2 Identificación de la serie Precio del petróleo WTI. - 4.3 Estimación del modelo de Vectores Autorregresivos VAR. - 4.3.1 Pruebas Dickey-Fuller Aumentada (ADF) a las series seleccionadas. - 4.3.2 Criterios de rezagos óptimos del modelo de Vectores Autorregresivos VAR. - 4.4 Diagnóstico del modelo de Vectores Autorregresivos VAR. - 4.4.1 Autocorrelación. - 4.4.2 Normalidad de los residuales. - 4.4.3 Heterocedasticidad. - 4.4.4 Pruebas de cointegración de Johansen. - 4.4.5 Causalidad de Granger. - 4.5 Función impulso-respuesta. CONCLUSIONES. - REFERENCIAS.

## Introducción

Los hechos que anteceden el último choque petrolero tienen su origen en la crisis de 2008-2009 iniciada en EEUU, y cuyo carácter fue financiero, según lo ocurrido entre 2007-2009 cuando se experimentó un incremento y desplome de los precios internacionales del crudo (García Jara, Cuadrado Ebrero & Eslava Zapata, 2011). Cambios que causaron el estallido de “la burbuja financiera”, denominada así por la especulación bursátil y el exceso de capital, la cual tuvo como consecuencia una recesión de la economía mundial (Barriga, 2009). Panorama no lejano en el último descenso de los precios del petróleo, pues según lo señala el Banco de la República (BRC), la Reserva Federal De los Estados Unidos, después de seis años, aumentó las tasas de interés *Federal Funds Rate*<sup>1</sup>, que se mantenían cercanas al 0,25% luego de la última crisis en 2008 donde fue necesario bajarlas; pero que a la larga perjudicó el ahorro, la inversión, las finanzas, entre otras (BRC, 2015). Por ello Estados Unidos, comenzó a aplicar una política monetaria restrictiva, provocando el fortalecimiento del dólar, lo cual hizo que fuera más costoso comprar barriles de petróleo, e indujo a que bajara la demanda de petróleo presionando así la caída de los precios del mismo (Cuadrado Ebrero, García Jara, & Eslava Zapata, 2011).

Colombia es un país líder en la extracción y exportación del crudo; puesto que es el tercer país en América Latina con mayores exportaciones del mismo, con un aproximado de 718.000 barriles diarios del millón de barriles que produce al día (UPME, 2015). Por lo que se ha visto afectada con un fuerte impacto sobre la disponibilidad de divisas en el mercado local, que en respuesta alcanzó una devaluación máxima del 40,00% (PNUD, 2014). Al mismo tiempo que Estados

<sup>1</sup> En Estados Unidos, es una tasa de interés bajo la cual los bancos prestan dinero (fondos federales) en la Reserva Federal a otras instituciones depositarias, usualmente de un día para otro; siendo la tasa de interés que los bancos se cobran entre sí cuando se prestan dinero (Goodfriend & Whelpley, 1986).

Estados Unidos ha invertido sus recursos en el *fracking*<sup>2</sup>, dicha técnica permite acceder al petróleo de una forma que antes era casi imposible, y a pesar de sus elevados costos ha facilitado la producción de su propio petróleo. Sumado a esto, el punto crítico se da luego de la reunión de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), en noviembre de 2014, a causa de la disparidad de oferta y demanda que se venía presentando (Libreros, Gómez & Galindo, 2014).

En dicha reunión, la OPEP en lugar de defender los precios del petróleo reduciendo su producción, optó por sostener su cuota de mercado, decisión tomada bajo la influencia de Arabia Saudita tras el argumento de que la oferta y la demanda mueven el mercado, y éste en algún momento se ajustaría sin necesidad de acciones externas (Eslava Zapata, Cuadrado Ebrero & García Jara, 2010). En definitiva, el nuevo entorno de precios bajos promovería la salida del mercado de todo aquel petróleo con altos costos que no pueden competir con la estructura de costos de la mayoría de los países OPEP (Merino & Matilla, 2015). Ante este escenario, Colombia sufre perturbaciones en su economía, lo cual ha llamado la atención por parte de analistas e investigadores, sin embargo, en lo referente a las consecuencias en el tipo de cambio son pocas las evidencias científicas que se han logrado ubicar, por lo tanto surge la necesidad de explorar el tema y para ello se realiza esta investigación que valida las diferentes teorías sobre el tipo de cambio como las planteadas por Blanchard, Amighini & Giavazzi (2012), Krugman & Obstfeld (2006) o Dornbusch, Fisher & Startz (2009); las cuales argumentan la volatilidad presentada en el tipo de cambio del país, al ser una de las principales variables macroeconómicas, y que por lo mismo responde a factores externos como es el caso de las variaciones de los precios internacionales del crudo que han desestabilizado los diversos sectores de la economía. Por esta razón con este trabajo se pretende demostrar que la actual caída de los precios del petróleo es uno de los determinantes que producen la devaluación del peso colombiano. Esto a través del desarrollo de un modelo econométrico de vectores autoregresivos (VAR). Este tipo de modelos, tal como lo menciona Novales (2014), tiene como propósito analizar cómo una variable afecta a la otra en un determinado período de tiempo. En este caso en particular, las series de tiempo objetos de estudio son: el precio del petróleo de referencia *West Texas Intermediate*<sup>3</sup> (WTI), y la Tasa Representativa del Mercado (TRM), con datos mensuales entre 2008-2015; con el

<sup>2</sup> Técnica avanzada de fracturación hidráulica para la extracción de gas y crudo en yacimientos no convencionales (Del Val, 2014).

<sup>3</sup> Es una clase de petróleo bruto que los economistas utilizan como valor estándar para determinar el precio del petróleo como materia prima en los mercados financieros, especialmente en el New York Mercantile Exchange (Bolsa mercantil de New York) que es la principal bolsa de las materias primas mundiales (Domènech, 2012).

fin de establecer si estas variables están correlacionadas o no por medio del paquete estadístico R 3.4.1, el cual permite realizar el análisis econométrico (Eslava Zapata, Pérez Carrero & Aranguren Carrero, 2014).

## Esquema de resolución

### 1. Problema de investigación

¿Qué tipo de relación existe entre la variación de los precios del petróleo y el comportamiento del tipo de cambio en Colombia para el período 2008-2015?

### 2. Metodología

Para el desarrollo metodológico de esta investigación, las variables empleadas son: el precio del petróleo de referencia (WTI) y la Tasa Representativa del Mercado (TRM) con datos mensuales entre los años 2008-2015, obtenidos de fuentes oficiales como la *U.S. Energy Information Administration* (U.S. Energy Information, Varios años) y el Banco de la República de Colombia respectivamente. Estos datos son estudiados por medio del paquete estadístico R 3.4.1, el cual permite llevar a cabo el análisis de un modelo econométrico VAR, es decir un modelo de vectores autorregresivos con ecuaciones simultáneas<sup>4</sup> para series de tiempo (Novales, 2014; Chacón & Eslava, 2017).

#### 2.1. Definición de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR

Este modelo fue planteado por primera vez por Sims (1980) como una extensión de un modelo autorregresivo univariado AR a una dinámica multivariable en las series de tiempo, es muy usado para describir el comportamiento dinámico de las series económicas y para realizar pronósticos en sistemas de variables de series temporales interrelacionadas. Así pues, un VAR es un modelo de ecuaciones simultáneas formado por un sistema de ecuaciones de forma reducida sin restringir; que sean ecuaciones de forma reducida quiere decir que los valores contemporáneos de las variables del modelo no aparecen como variables explicativas en ninguna de las ecuaciones.

#### 2.2. Supuestos del modelo de Vectores Autorregresivos VAR

De acuerdo con Sims (1980) los principales supuestos de un modelo VAR son:

---

<sup>4</sup> Conjunto de ecuaciones lineales que hacen parte de un modelo estadístico (Pérez,2008).

- Es un modelo de ecuaciones simultáneas donde cada variable crea sus propios rezagos.
- Es una herramienta para generar pronósticos confiables en el corto plazo.
- Es capaz de separar los efectos pasados que explican al vector de las variables endógenas a través de su pasado o mediante variables autorregresivas.
- La estimación del modelo es sencilla, ya que es posible utilizar el método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios<sup>5</sup> (MCO).
- Los valores retardados de todas las ecuaciones aparecen como variables explicativas en todas las ecuaciones.

### 2.3. Ecuación General de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR

La metodología planteada por Novales (2014) para la estimación de un modelo VAR se presenta a continuación. El autor considera el caso más simple, con dos variables y un rezago, el modelo VAR de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Y_{1t} &= \beta_{10} + \beta_{11} Y_{1t-1} + \beta_{12} Y_{2t-1} + u_{1t} \\ Y_{2t} &= \beta_{20} + \beta_{21} Y_{1t-1} + \beta_{22} Y_{2t-1} + u_{2t} \end{aligned} \quad [3.1]$$

Donde:

$Y_{1t}$  es la variable dependiente (TRM)

$Y_{2t}$  es la variable independiente (Precio del petróleo)

$\beta_i$  para  $i = 1, 2, \dots, p$ , son matrices de coeficientes, cada una de orden  $k \times k$

$\beta$  es un vector de constantes de orden  $k \times 1$

$u_t$  es un vector  $k \times 1$  de procesos ruido blanco

### 2.4. Identificación de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR

La estimación de un modelo VAR bivalente proporciona una constante, más un rezago de cada una de las variables del modelo, con 6 coeficientes en total. Por lo que no es posible recuperar valores numéricos para todos los parámetros de un modelo estructural<sup>6</sup> a partir de la estimación de la forma reducida; a este proceso de

<sup>5</sup> Conjunto de estimadores que logran minimizar la suma de los cuadrados de los errores entre los valores observados de la variable endógena y los que resultan del ajuste correspondiente (Gujarati, 2010).

<sup>6</sup> Un modelo VAR estructural es una extensión de un modelo VAR simple, el cual se fundamenta en el conocimiento de las propiedades estadísticas de las series utilizadas y en las relaciones macroeconómicas subyacentes entre las variables (Sims, 2011).

recuperación de parámetros se le conoce como identificación del modelo VAR. El cual consiste básicamente en que haya tantos parámetros estimados como parámetros se quieren recuperar (estimar) en la forma estructural es una condición necesaria, aunque no es suficiente, para lograr la identificación del modelo estructural. Con el siguiente ejemplo se prueba un modelo estructural bivalente identificado, ya que sus parámetros pueden recuperarse de forma única a partir de las estimaciones del modelo VAR asociado.

$$\begin{aligned} y_{1t} &= \alpha_{10} + \alpha_{11}y_{2t} + \alpha_{12}y_{1t-1} + \alpha_{13}y_{2t-1} + \varepsilon_{1t} \\ y_{2t} &= \alpha_{20} + \alpha_{22}y_{1t-1} + \alpha_{23}y_{2t-1} + \varepsilon_{2t} \end{aligned} \quad [3.2]$$

Este resulta ser un modelo interesante, en el que se consigue identificar todos los parámetros del modelo estructural a partir de las estimaciones de la forma reducida (modelo VAR), introduciendo la hipótesis de que la variable  $y_{1t}$  afecta a la variable  $y_{2t}$  únicamente con un retardo, mientras que la dirección de influencia de  $y_{2t}$  hacia  $y_{1t}$  se manifiesta ya dentro del mismo período. Por lo que se tiene que:

$$\begin{aligned} \beta_{11} &= \alpha_{12} + \alpha_{11}\alpha_{22}; \beta_{12} = \alpha_{13} + \alpha_{11}\alpha_{23}; \\ \beta_{21} &= \alpha_{22}; \beta_{22} = \alpha_{23}; \beta_{10} = \alpha_{10} + \alpha_{11}\alpha_{20}; \beta_{20} = \alpha_{20}; \beta_{22} = \alpha_{23}; \\ \sigma_{u1}^2 &= \sigma_{\varepsilon1}^2 + \alpha_{11}\sigma_{\varepsilon2}^2; \sigma_{u2}^2 = \sigma_{\varepsilon2}^2; \sigma_{u1u2} = \alpha_{11}\sigma_{\varepsilon2}^2 \end{aligned} \quad [3.3]$$

Que puede resolverse, con solución única, para encontrar los coeficientes junto con  $\sigma_{\varepsilon1}^2$  y  $\sigma_{\varepsilon2}^2$ . En este modelo no sólo se pueden recuperar estimaciones de todos los parámetros que aparecen en el modelo estructural. También las series temporales de los residuos del modelo estructural pueden recuperarse a partir de los residuos obtenidos en la estimación del modelo VAR, mediante:

$$\hat{\varepsilon}_{2t} = \hat{u}_{2t}; \hat{\varepsilon}_{1t} + \alpha_{11}\hat{\varepsilon}_{2t} = \hat{u}_{1t} \quad [3.4]$$

Un modelo más restringido:

$$\begin{aligned} y_{1t} &= \alpha_{10} + \alpha_{11}y_{2t} + \alpha_{12}y_{1t-1} + \alpha_{13}y_{2t-1} + \varepsilon_{1t} \\ y_{2t} &= \alpha_{20} + \alpha_{23}y_{2t-1} + \varepsilon_{2t} \end{aligned} \quad [3.5]$$

Implicaría que la variable  $y_{1t}$  no afecta ni de forma contemporánea, ni retardada, a la variable  $y_{2t}$ , por lo que ésta puede considerarse exógena

respecto de  $y_1^t y_1^t$ : Las dos restricciones que se han impuesto,  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$  hacen que en el modelo VAR,  $\alpha_1 = 0$ ; restricción que podría contrastarse sin ninguna dificultad utilizando el estadístico tipo  $t$  habitual de dicho coeficiente.

## 2.5. Estimación de un modelo de Vectores Autorregresivos VAR

Sin la existencia de restricciones, la estimación por mínimos cuadrados ordinarios, ecuación por ecuación, de un modelo VAR produce estimadores eficientes a pesar de que ignora la información contenida en la matriz de covarianzas de las innovaciones<sup>7</sup>. El estimador es consistente siempre que los términos de error sean innovaciones, es decir, procesos ruido blanco, pues en tal caso, estarán incorrelacionados con las variables explicativas.

Por lo tanto, debe incluirse en cada ecuación, como variables explicativas, el menor número de rezagos que permita eliminar la autocorrelación residual<sup>8</sup> en todas las ecuaciones, y se aconseja realizar el análisis conjunto de los coeficientes asociados a un bloque de rezagos en una determinada ecuación. Entonces bajo la hipótesis de normalidad del vector de innovaciones, el logaritmo de la función de verosimilitud<sup>9</sup> es:

$$l = -\frac{Tn}{2} (1 + \ln 2\pi) - \frac{T}{2} \ln |\hat{\Sigma}| \quad [3.6]$$

Siendo  $\hat{\Sigma}$  la estimación de la matriz de covarianzas del vector de innovaciones  $uu$ ,

$$\hat{\Sigma} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t \hat{u}_t' \quad [3.7]$$

Una matriz simétrica, definida positiva, por construcción.

## 2.6. Función de impulso – respuesta en un modelo de Vectores Autorregresivos VAR

Las funciones de respuesta al impulso sólo pueden obtenerse después de haber introducido restricciones acerca del retardo con que unas variables inciden

<sup>7</sup> De acuerdo con Londoño (2005), una matriz de covarianzas de las innovaciones es una matriz cuadrada que contiene las covarianzas asociadas con diferentes variables que representan los nuevos impulsos a un modelo.

<sup>8</sup> La autocorrelación residual es la correlación estimada entre residuos consecutivos (Amado, 2000).

<sup>9</sup> Es la función de densidad o de probabilidad de la muestra aleatoria simple para estimar si dos parámetros de un modelo están relacionados (Johansen, 1988).

sobre otras. Esta elección condiciona bastante, en general, el aspecto de las funciones de respuesta, excepto si las innovaciones del modelo VAR,  $u_{1t}u_{1t}$  y  $u_{2t}u_{2t}$  están incorrelacionadas, en cuyo caso, coinciden con las innovaciones del modelo estructural. Las funciones de respuesta al impulso generan una gran cantidad de números, pues se calcula el impacto que, en cada instante futuro tendría, sobre cada variable del modelo, un impulso en una determinada innovación, y ello puede repetirse para las innovaciones en cada una de las ecuaciones. Por eso, suelen representarse en varios gráficos, cada uno de los cuales incluye las respuestas a través del tiempo, de una determinada variable a un impulso en cada una de las innovaciones; de este modo se tiene tantos gráficos como variables en el modelo, cada uno de ellos conteniendo tantas curvas como variables.

$$\begin{pmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ y_{3t} \\ y_{4t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0,1 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0,3 & 0,4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1t-1} \\ y_{2t-1} \\ y_{3t-1} \\ y_{4t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \\ u_{3t} \\ u_{4t} \end{pmatrix} \quad [3.8]$$

De este modo, se prosigue con las combinaciones entre las variables para determinar cómo responde cada una de ellas ante los shocks de las innovaciones, Por ejemplo:

$$\begin{pmatrix} 0,1 & 0,3 & 0,4 & 0,5 \\ 0,2 & 0,3 & 0,2 & 0,1 \\ 0,4 & 0,1 & 0,5 & 0,3 \\ 0,2 & 0 & 0,4 & 0,2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,2 & 0 & 0 & 0 \\ 0,4 & 0,4 & 0,5 & 0,3 \\ 0,1 & 0,3 & 0,2 & 0,3 \\ 0,5 & 0,2 & 0,1 & 0,4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,4 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0,1 & 0,5 & 0 \\ 0,2 & 0,2 & 0,3 & 0 \\ 0,1 & 0,5 & 0,4 & 0 \end{pmatrix} \quad [3.9]$$

### 3. Plan de redacción

#### 3.1. El tipo de cambio

El tipo de cambio es el precio de la moneda de un país en función de la moneda de otro. Es por ello que desempeña un papel fundamental en el comercio internacional, ya que permite comparar los precios de bienes y servicios producidos en los diferentes países e influye en las decisiones de gasto. Por lo tanto, es disposición de la política económica de cada país la elección de a qué sistema de tipo de cambio acogerse. De allí surge la disyuntiva, a partir de la experiencia de otros países con la implementación de los dos tipos de cambio más usados; explicados de la siguiente manera: (1) El tipo de cambio fijo: ocurre cuando los Bancos Centrales se fijan un tipo de cambio como objetivo y utilizan la política monetaria para alcanzarlo. (2) El tipo de cambio flexible: ocurre cuando los Bancos centrales no intervienen en

el mercado de divisas y permiten que su tipo de cambio fluctúe considerablemente (Krugman & Obstfeld, 2006).

### 3.2. El tipo de cambio flexible

Hoy en día, la mayoría de las economías emergentes operan bajo un esquema de flexibilidad del tipo de cambio, aunque sus autoridades monetarias nacionales conservan la potestad de intervenir, siempre que consideren que la evolución del mismo represente algún riesgo para su estabilidad económica. En este caso dichos países se rigen bajo un sistema híbrido de tipo de cambio flexible, en el que los Gobiernos moderan las variaciones del tipo de cambio sin mantenerlos fijos rígidamente. Colombia no es la excepción a esta modalidad, ya que como lo destacan Uribe, Jiménez & Fernández (2015), desde septiembre de 2000 abandona el sistema de banda cambiaria, que había adoptado el país a partir de septiembre de 1994, y deja flotar el tipo de cambio, aunque mantiene la autonomía para realizar intervenciones.

De acuerdo con Krugman & Obstfeld (2006), estos modelos de tipo de cambio flexible se consolidan cuando el sistema de Bretton Woods<sup>10</sup>, de tipos de cambio fijos empezó a mostrar signos de debilidad a finales de los años sesenta; y muchos economistas recomendaron a los países que permitieran que el valor de sus monedas fluctuara libremente en el mercado de divisas. Sin embargo, aparecieron defensores y detractores con algunos argumentos a favor y en contra:

- A favor de la fluctuación se sostiene que: en primer lugar, se dijo que los tipos de cambio flexibles darían a los responsables de las políticas macroeconómicas nacionales una mayor autonomía para dirigir sus economías. En segundo lugar, se predijo que los tipos de cambio flexibles eliminarían las asimetrías del sistema de Bretton Woods. Y, en tercer lugar, se señaló que los tipos de cambio flexibles eliminarían rápidamente los desequilibrios que habían provocado cambios en la paridad de poder adquisitivo y especulaciones con tipos de cambio fijo.
- Respecto a las críticas sobre los tipos se expuso el temor de que la fluctuación fomentara los excesos monetarios y fiscales. También, que los tipos flexibles estarían sujetos a especulaciones desestabilizadoras, y que la incertidumbre sobre los tipos de cambio perjudicaría el comercio y la

---

<sup>10</sup> En 1944 los representantes de 44 países se reunieron en Bretton Woods (New Hampshire, EE.UU) para idear un nuevo sistema monetario y cambiario internacional. El sistema que adoptaron se basaba en unos tipos de cambio fijos: todos los países miembros, salvo EE.UU, fijaron el precio de su moneda en dólares (Blanchard, Amighini y Giavazzi, 2012).

inversión internacional. Por último, algunos economistas se preguntaban si los países estarían dispuestos, en la práctica, a no hacer caso de los tipos de cambio al formular sus políticas monetarias y fiscales, por pensar que el tipo de cambio era tan importante como para convertirse en un objetivo de la política económica por sí mismo.

### 3.3. Devaluación

Blanchard, Amighini & Giavazzi (2012), describen la devaluación o depreciación como la pérdida de valor de una moneda en comparación con otra en el mercado de divisas, y asimismo la revaluación o apreciación como el aumento del valor de una moneda respecto a otra. De igual forma plantean los efectos de la devaluación de una divisa entre los cuales sobresalen: (1) La devaluación de una moneda afecta negativamente el consumo, la inversión y contribuye a aumentar la inflación de cualquier nación. (2) Una devaluación actúa encareciendo relativamente los bienes extranjeros, lo cual significa que, dada la renta de los individuos, su bienestar empeora, ya que tienen que pagar más por los bienes extranjeros a causa de la depreciación. (3) La devaluación provoca un desplazamiento de la demanda, tanto extranjera como interior, en favor de los bienes nacionales, lo que a su vez provoca un aumento de la producción interna y una mejora de la balanza comercial.

Al mismo tiempo, los autores distinguen la devaluación entre un esquema cambiario fijo y un esquema cambiario flexible:

- En un sistema de tipos de cambio flexibles, un país que necesitara lograr una depreciación real podía hacerlo adoptando una política monetaria expansiva y logrando tanto un tipo de interés más bajo como una reducción del tipo de cambio, es decir, una devaluación.
- En un sistema de tipos de cambio fijos, un país deja de poder utilizar estos dos instrumentos: por definición, su tipo de cambio nominal es fijo, por lo que no podía ajustarse. Además, el tipo de cambio fijo y la condición de la paridad de los tipos de interés implican que el país no pueda ajustar su tipo de interés; por lo que el tipo de interés interior tiene que seguir siendo igual que el tipo de interés extranjero.

De igual modo, Dornbusch, Fisher & Startz (2009), manifiestan que cuando no se mantiene el tipo de cambio a la par de los precios, es decir manteniendo la competitividad, se desemboca en última instancia en una crisis de devaluación; realidad que se asemeja a la que atraviesa la economía colombiana con la reciente

caída de los precios del petróleo. A este argumento se suman Fiorito, Guaita & Guaita (2014), afirmando que una devaluación reduce la capacidad de los salarios tanto en moneda doméstica como en divisas, ya que el aumento del tipo de cambio se transmite a los precios, deprime el salario real y consecuentemente la capacidad de gasto de los trabajadores, e induce a una recesión en el peor escenario para Colombia. Sin dejar de lado que otros factores determinantes del tipo de cambio pueden ser: los términos de intercambio, las transferencias internacionales y la relajación de los controles cambiarios. Finalmente, Uribe, Jiménez & Fernández (2015) afirman que factores como los flujos de capitales extranjeros y las variaciones de los precios de *commodities* como el petróleo, hoy por hoy han desequilibrado la economía nacional y han propiciado la devaluación de la moneda.

### **3.4. Ley de oferta**

Pindyck & Rubinfeld (2009), definen los precios como los costes a los que se enfrentan los consumidores, los trabajadores o las empresas. Cuando es una economía basada en un sistema de planificación central, los precios son fijados por el Estado. Pero si es una economía de mercado, los precios son el resultado de las interacciones de los consumidores, los trabajadores y las empresas. Sumado a esto, la ley de oferta se relaciona con la cantidad que están dispuestos los productores a vender de un bien a un precio dado, manteniendo constantes los demás factores que pueden afectar a la cantidad ofrecida. Así pues, la oferta puede depender de factores como los precios, la competencia, la tecnología, el ingreso a un nuevo mercado y los costos de producción entre los que se encuentran los salarios, los intereses y los costes de las materias primas.

## **4. Resultados de investigación**

Con el fin de ampliar el alcance de esta investigación, se siguen las recomendaciones dadas previamente por un experto, encargado de la evaluación de este estudio; por lo tanto, se incluyen cuatro variables independientes adicionales, identificadas en la revisión bibliográfica realizada anteriormente, y de gran influencia en la última crisis económica originada por la variación de los precios del petróleo, que ha afectado la economía colombiana. Las variables inicialmente planteadas son la TRM y el marcador del precio del petróleo WTI, mientras que las variables agregadas son las tasas de interés de los Estados Unidos Federal Funds Rate, puesto que la Reserva Federal De los Estados Unidos, aumenta las tasas de interés que se mantenían cercanas al 0,00%, influyendo así en el fortalecimiento del dólar (BRC,

2015). En el mismo contexto, la siguiente variable es la producción de petróleo de Estados Unidos, ya que este país realizó una gran inversión en *fracking*, lo cual le ha permitido aumentar la producción de su propio petróleo y ha ejercido presión sobre los precios del mismo (Libreros, Gómez & Galindo, 2014). Otra variable representativa es la producción de petróleo de la OPEP, dado que, en plena crisis en 2014, dicha organización resuelve sostener su cuota de mercado, con la intención de sacar del mercado a los productores que incursionaban en nuevas técnicas para la extracción del crudo (Merino y Matilla, 2015).

La última variable en cuestión, es la producción de petróleo en Colombia, ya que el crudo es el principal producto de exportación; y el cambio en sus precios afecta la producción interna, que se ve reflejada por ejemplo en las petroleras que solo pueden mantener la operación de su producción sin dar utilidades, también en el bajo consumo de derivados (combustibles, productos de la refinación), genera desempleo, e interviene de diversas maneras en las decisiones de demanda: reduce el ingreso disponible de los hogares, y genera un efecto sustitución por fuentes de energía más baratas (Perilla, 2010). A continuación, se realiza el análisis de las series de tiempo, el cual busca demostrar si los datos son dependientes entre sí. Para lograrlo se recurre a la aplicación de métodos econométricos con el propósito de dar un contenido empírico a las teorías o modelos económicos, como es el caso de los modelos VAR. Dado que es un modelo VAR el que se usa como instrumento metodológico en esta investigación, su desarrollo inicia con la consolidación de la base de datos en el paquete estadístico R 3.4.1, para luego empezar con una serie de pruebas que se ajustan a la teoría de las series temporales.

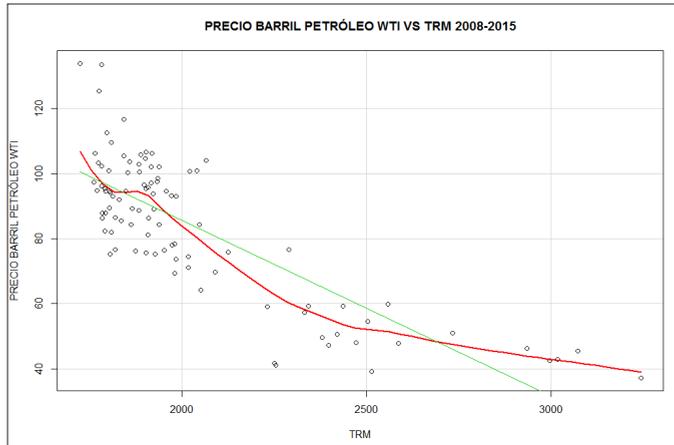
#### 4.1. Selección de variables

En el gráfico 1, se observa el análisis entre la TRM y el precio del petróleo WTI para el período señalado, se distingue una correlación negativa lo que hace posible adelantar esta investigación con las variables mencionadas dado que el tipo de cambio desempeña un papel fundamental en el comercio internacional, ya que permite comparar los precios de bienes y servicios producidos en los diferentes países e influye en las decisiones de gasto tal como lo afirman Krugman & Obstfeld, (2006). Así mismo Dornbusch, Fisher & Startz (2009), manifiestan que cuando no se mantiene el tipo de cambio a la par de los precios, es decir manteniendo la competitividad, se desemboca en última instancia en una crisis de devaluación; realidad que se asemeja a la que atraviesa la economía colombiana con la reciente caída de los precios del petróleo. Por su parte, los precios del *commodity* se vieron

afectados por la sobre oferta de crudo en el mercado, a cargo de países como Estados Unidos, que antes era uno de los principales consumidores, y por países tradicionalmente productores como los pertenecientes a la OPEP, frente a la poca demanda actual.

Tal como lo explican Pindyck & Rubinfeld (2009), la oferta puede depender de factores como la competencia, la tecnología, el ingreso a un nuevo mercado y los costos de producción entre los que se encuentran los salarios, los intereses que han de pagar y los costes de las materias primas, lo que en definitiva termina presionando los precios.

**Gráfico 1. Precio petróleo WTI frente a la Tasa Representativa del Mercado en Colombia 2008-2015**



**Fuente:** Elaboración propia con datos tomados del Banco de la República de Colombia; (U.S. Energy Information , Varios años.)

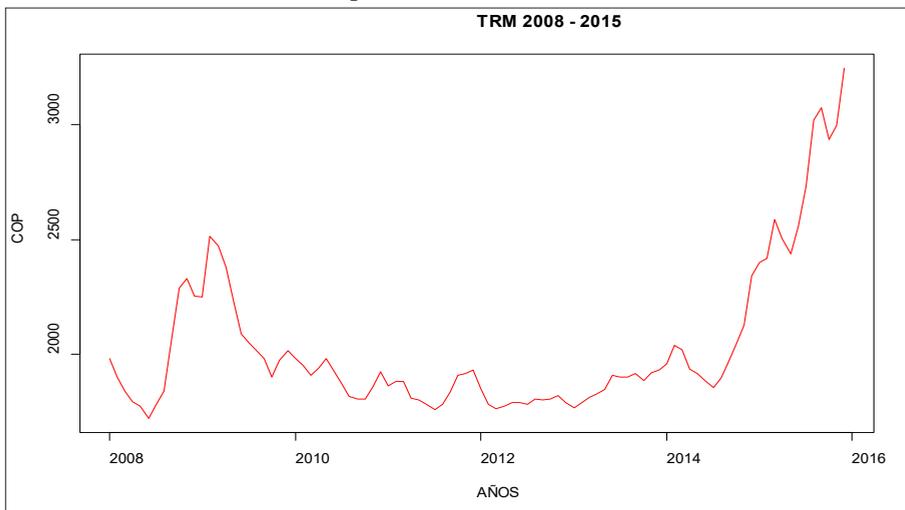
Por lo anterior, se halla que estas dos variables son las de mayor relevancia para el posterior desarrollo del modelo VAR, que ha sido planteado como instrumento metodológico de estudio en la presente investigación, con el fin de establecer la relación que existe entre un fenómeno y el otro. Cabe resaltar, que se analizan entre sí las demás variables agregadas: tasas de interés de Estados Unidos, producción de petróleo de la OPEP, y producción de petróleo de Colombia, pero se excluyen al no encontrarse significativas estadísticamente, debido a que no presentan causalidad entre sí (ver anexos 1-11), y aunque explican los hechos que preceden el descenso de los precios del petróleo no son lo suficientemente determinantes sobre la devaluación del peso en Colombia, que se produce durante el período comprendido.

## 4.2. Identificación de las series

### 4.2.1. Identificación de la serie Tasa Representativa del Mercado (TRM)

En primer lugar, para el estudio de la variable TRM, tomada del Banco de la República de Colombia, se realiza un análisis estadístico-descriptivo de los datos mensuales para el período comprendido, seguido por una interpretación gráfica de la evolución de dicha variable en el país. En el gráfico 2 se observa el comportamiento de la TRM, la cual registra tres episodios que destacan; el primero de ellos se evidencia en junio de 2008, cuando se produce la crisis financiera del mismo año e iniciada en EE.UU., una de las mayores consecuencias en Colombia a causa de dicha crisis fue la depreciación cambiaria, que afectó negativamente la producción del sector transable de la economía, cuyo crecimiento en 2008 fue de 1,80%, frente al 7,30% alcanzado en 2007 (BRC, 2009). En segunda instancia, durante la mayor parte de 2009 el tipo de cambio se revaluó; sin embargo, la devaluación de principios de año hizo que el peso colombiano se depreciara en promedio 9,40% debido a los elevados niveles de aversión al riesgo, asociada con el debilitamiento del dólar a nivel internacional. Así mismo desde finales de febrero y hasta mitad de octubre el tipo de cambio presentó una tendencia a la baja, llegando a registrar, después del real brasilero, la revaluación más alta de la región (BRC, 2010).

**Gráfico 2. Evolución de la Tasa Representativa del Mercado en Colombia 2008-2015**



**Fuente:** Elaboración propia con datos tomados del Banco de la República de Colombia.

En último lugar, a partir de junio de 2014 la tasa de cambio, se ha depreciado frente al dólar de manera continua; lo que demuestra que este comportamiento ha sido impulsado por algunos factores externos que han fortalecido el dólar a nivel mundial, entre ellos la mejora de los indicadores de actividad real en Estados Unidos (PIB, empleo, entre otros) a la par con la lenta actividad económica de la Zona Euro y la desaceleración de China, además de la pérdida de confianza en el euro, especialmente tras la crisis griega (BRC, 2015). Con la realización de los estadísticos descriptivos se busca analizar la variación de la variable y la tendencia que presenta para el tiempo establecido.

Al revisar la tabla 1 se determina que durante el período 2008-2015, la TRM señala su valor más bajo en 1724 pesos, mientras que su valor máximo se registró en 3243 pesos, y en promedio osciló en 1913 pesos.

Tabla 1. *Estadísticos descriptivos de la Tasa Representativa del Mercado en Colombia*

Estadístico	Valor
Mínimo	1724
Máximo	3243
Media	1913
Mediana	2013

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 3 se encuentran las funciones de autocorrelograma simple y parcial<sup>11</sup>, la primera figura demuestra el decrecimiento de los rezagos hacia cero, y por su parte la segunda figura posee un primer valor significativo, por lo que se concluye que la serie no es estacionaria y que tanto su media como su varianza no son constantes en el tiempo. Ello se corrobora por medio de las pruebas de raíz unitaria, Dickey-Fuller y KPSS (tabla 2), En las cuales se plantea la siguiente Hipótesis nula vs. Hipótesis alternativa:

$H_0$ : Raíz Unitaria

$H_1$ : Estacionaria

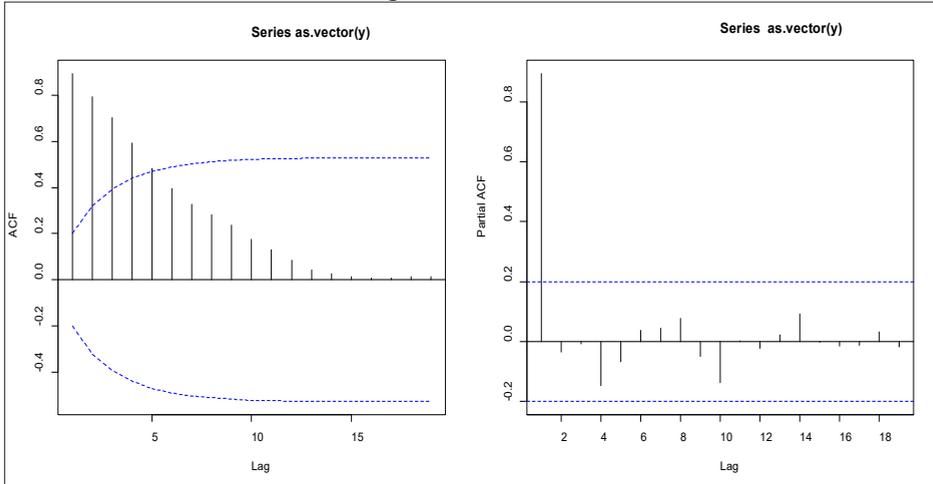
Tabla 2 *Test de raíz unitaria TRM*

Test de raíz unitaria	P- valor
Dickey-Fuller Aumentada	0,99
KPSS	0,01

Fuente: Elaboración propia.

<sup>11</sup> Estas funciones son medidas de asociación entre valores de series actuales y pasadas e indican cuáles son los valores de series pasadas más útiles para predecir valores futuros (Hamilton, 1994).

**Gráfico 3. Funciones de autocorrelograma TRM**



**Fuente:** Elaboración propia.

En primera medida, se realiza la prueba de Dickey-Fuller Aumentada, la cual arroja un P-valor de 0,99 para un nivel de significancia de 0,05%, Luego se realiza la prueba KPSS, con un P-valor de 0,01 bajo el mismo nivel de significancia, confirmando la presencia de raíz unitaria. Para eliminar la no estacionariedad de la variable, inicialmente es desarrollada una transformación de potencia de 3/2 con el fin de estabilizar la varianza. Sin embargo, la variable no muestra cambios drásticos manteniendo así su tendencia después de dicha transformación, esto es comprobado al realizar nuevamente los test de raíz unitaria, en donde la prueba Dickey-Fuller Aumentada proporciona un P-valor de 0,54 mientras que la prueba KPSS un P-valor menor al nivel de significancia, confirmando la presencia de raíz unitaria, o sea, que la variable sigue siendo no estacionaria (tabla 3 y tabla 4).

**Tabla 3. Test de raíz unitaria de la variable transformada**

Test de raíz unitaria	P- valor
Dickey-Fuller Aumentada	0,54
KPSS	0,04

**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** Para el caso particular del test KPSS la hipótesis nula es que la variable en cuestión no tiene una raíz unitaria, a diferencia del test Dickey-Fuller, en el cual la hipótesis nula es la existencia de raíz unitaria.

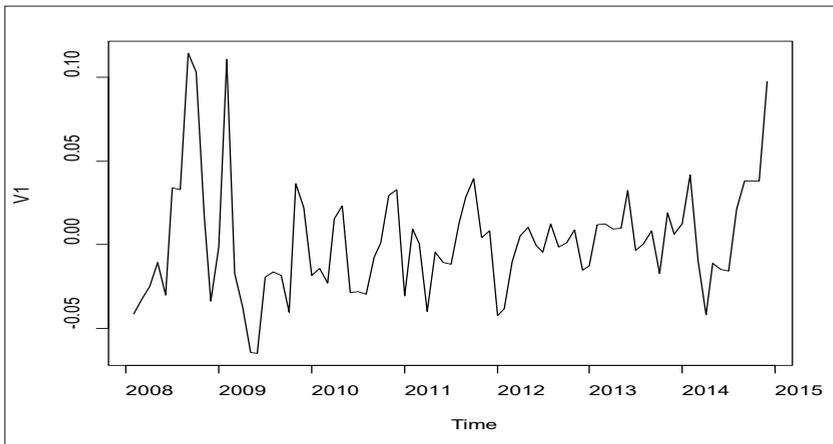
**Tabla 4. Test de raíz unitaria de la variable diferenciada**

Test de raíz unitaria	P- valor
Dickey-Fuller Aumentada	0,07
KPSS	0,10

**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** Para el caso particular del test KPSS la hipótesis nula es que la variable en cuestión no tiene una raíz unitaria, a diferencia del test Dickey-Fuller, en el cual la hipótesis nula es la existencia de raíz unitaria. Seguido a la transformación de potencia se aplicó primera diferencia a la TRM en Colombia para eliminar la tendencia. Después de aplicar primera diferencia la variable pierde su tendencia, es decir, que ahora es estacionaria, para comprobarlo se presenta la nueva gráfica de la serie diferenciada (gráfico 4).

**Gráfico 4. Tasa Representativa del Mercado de Colombia en primera diferencia**



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.2. Identificación de la serie Precio del petróleo WTI<sup>12</sup>

En segundo lugar, para el estudio de la variable precio del petróleo, tomada de (U.S. Energy Information, Varios años.), se realiza un análisis estadístico-descriptivo de los datos mensuales para el período comprendido, seguido por una interpretación gráfica de la evolución de dicha variable en el país.

En el gráfico 5 se analiza el comportamiento del precio del petróleo, en la cual se distinguen tres episodios que resaltan; el primero de ellos se produce entre junio y julio

<sup>11</sup> Se le da la denominación de WTI al petróleo americano (Texas).

de 2008, a causa de la crisis financiera. Para entonces el precio del crudo se situaba en los 134 USD\$, cayendo hasta los 40 USD\$ y entrando así a un ciclo descendente que ocasionó un fenómeno revaluacionista con respecto al dólar en casi todas las monedas del mundo, crisis inmobiliaria, encarecimiento de los costos de transporte, alza en los precios de los alimentos y presiones inflacionarias a la mayoría de los bancos centrales en todo el mundo (Quintana & Polanía, 2008). El segundo hecho que sobresale, ocurre en diciembre de 2008, luego de la recesión económica mundial, cuando el precio del petróleo mostró una recuperación que sostuvo en el tiempo, estabilizándose alrededor de los 45 USD\$ a finales del mismo año y principios de 2009; los analistas atribuyeron el restablecimiento a la reactivación de las economías y al aumento de la demanda por parte de las economías emergentes, así como el empeoramiento del ambiente geopolítico causado por la ola de violencia en la Franja de Gaza que indujo a limitar la oferta de la OPEP (Barriga, 2009). Por último, a mediados de 2014, caen estrepitosamente los precios del crudo; como consecuencia del exceso de oferta gracias al incremento de la producción de petróleo en EEUU, jalonada por la mayor extracción de crudos no convencionales como el *fracking*, que se hizo viable comercialmente por el incremento de los precios internacionales y a las favorables condiciones de financiamiento que para ese momento se daban (BRC, 2008).

**Gráfico 5. Evolución del precio del petróleo 2008-2015**



**Fuente:** Elaboración propia con datos tomados de (U.S. Energy Information, Varios años.).

Con la realización de los estadísticos descriptivos se busca analizar la variación de la variable y la tendencia que presenta para el tiempo establecido. En la tabla 5 se observa que durante el período 2008-2015, el precio del petróleo muestra

su más baja cotización en 37 USD\$ mientras que su valor máximo se registró en 134 USD\$, y en promedio osciló en 83,68 USD\$.

**Tabla 5.** Estadísticos descriptivos del precio del petróleo

Estadístico	Valor
Mínimo	37,00
Máximo	134,00
Media	83,68
Mediana	88,50

**Fuente:** Elaboración propia.

En el gráfico 6 se evidencia que las funciones de autocorrelograma simple y parcial decrecen lentamente por lo tanto su comportamiento indica que la serie es no estacionaria, lo cual es ratificado por medio de las pruebas de raíz unitaria, Dickey-Fuller y KPSS. En las cuales se plantea la siguiente Hipótesis nula vs. Hipótesis alternativa:

$H_0$ : Raíz Unitaria

$H_1$ : Estacionaria

Primeramente, se realiza la prueba de Dickey-Fuller Aumentada, la cual arroja un P-valor de 0,37 para un nivel de significancia de 0,05%, y a continuación se realiza la prueba KPSS, que arroja un P-valor de 0,10 con el mismo nivel de significancia, confirmando la presencia de raíz unitaria (tabla 6).

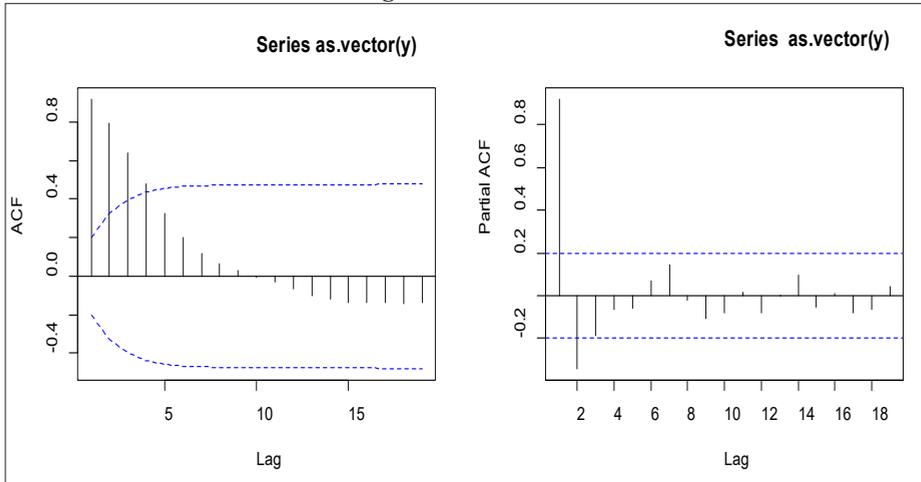
**Tabla 6.** Test de raíz unitaria Precio del Petróleo

Test de raíz unitaria	P- valor
Dickey-Fuller Aumentada	0,37
KPSS	0,10

**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** Para el caso particular del test KPSS la hipótesis nula es que la variable en cuestión no tiene una raíz unitaria, a diferencia del test Dickey-Fuller, en el cual la hipótesis nula es la existencia de raíz unitaria.

**Gráfico 6. Funciones de autocorrelograma Precio del Petróleo**



**Fuente:** Elaboración propia.

Para eliminar la no estacionariedad de la variable, se desarrolla una transformación de potencia de  $3/2$ . Aun así, la variable no muestra grandes cambios, manteniendo así su tendencia después de dicha transformación, esto se demuestra al realizar nuevamente los test de raíz unitaria, en donde la prueba Dickey-Fuller Aumentada proporciona un P-valor de 0,02 y por su parte la prueba KPSS un P-valor de 0,07, confirmando la presencia de raíz unitaria, es decir, que la variable sigue siendo no estacionaria (tabla 7).

**Tabla 7. Test de raíz unitaria de la variable transformada**

Test de raíz unitaria	P- valor
Dickey-Fuller Aumentada	0,02
KPSS	0,07

**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** Para el caso particular del test KPSS la hipótesis nula es que la variable en cuestión no tiene una raíz unitaria, a diferencia del test Dickey-Fuller, en el cual la hipótesis nula es la existencia de raíz unitaria.

Luego de la transformación de potencia se aplicó primera diferencia al precio del petróleo en Colombia. Posteriormente al aplicar primera diferencia la variable pierde su tendencia, por lo que ahora es estacionaria, para verificarlo se presenta el gráfico de la serie diferenciada (tabla 8 y gráfico 7).

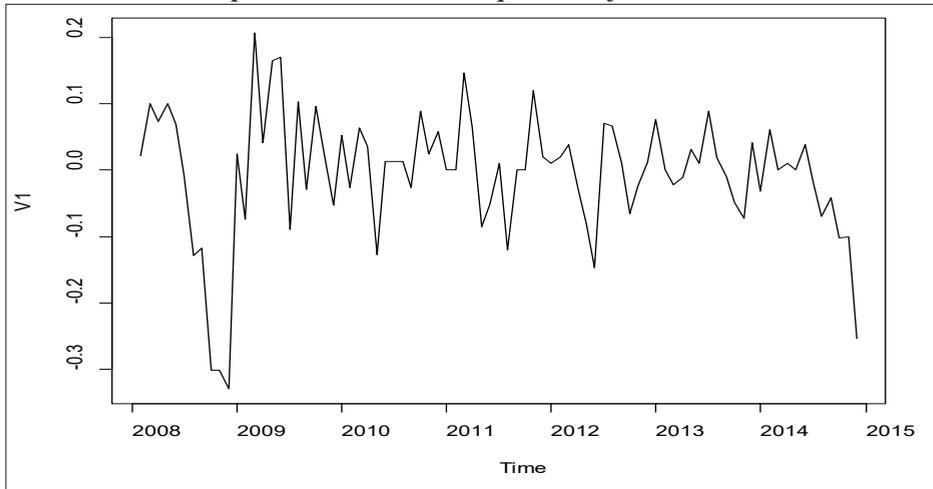
Tabla 8. *Test de raíz unitaria de la variable diferenciada*

Test de raíz unitaria	P- valor
Dickey-Fuller Aumentada	0,02
KPSS	0,10

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para el caso particular del test KPSS la hipótesis nula es que la variable en cuestión no tiene una raíz unitaria, a diferencia del test Dickey-Fuller, en el cual la hipótesis nula es la existencia de raíz unitaria.

Gráfico 7. *Precio del petróleo en Colombia en primera diferencia*



Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Estimación del modelo de Vectores Autorregresivos VAR

#### 4.3.1. Pruebas Dickey-Fuller Aumentada (ADF) a las series seleccionadas

Como un siguiente paso, se realizan las pruebas de raíz unitaria aplicando las regresiones de prueba de Dickey-Fuller aumentadas a las series, con el fin de determinar las propiedades de estacionariedad de las mismas. Para lo cual se plantea la siguiente Hipótesis nula vs. Hipótesis alternativa:

$H_0$ : Raíz Unitaria

$H_1$ : Estacionaria

Con la tabla 9 y 10 se puede concluir que bajo un nivel de significancia de 0.05 se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, por lo tanto, las series tienen raíz unitaria, es decir, que no son estacionarias. Con esto se prueba la no estacionariedad de las series, ya que la tendencia varía en el tiempo.

**Tabla 9. Prueba Dickey-Fuller Aumentada con tendencia**

	Estimate	Std. Error	T value	Pr (> t )
(Intercept)	-60,97831	57,85135	-1,054	0,294745
z.lag.1	0,02341	0,02985	0,784	0,434939
tt	0,54369	0,31103	1,748	0,083944
z.diff.lag1	0,43905	0,10788	4,070	0,000103 ***
z.diff.lag2	-0,30684	0,11104	-2,763	0,006970 **

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 10. Prueba Dickey-Fuller Aumentada con constante y con deriva**

	Estimate	Std. Error	T value	Pr (> t )
(Intercept)	119,120	79,872	1,491	0,1394
z.lag.1	-0,7642	0,1187	-6,441	5.7e-09 ***
z.diff.lag1	0,2482	0,1062	2,337	0,0217 *

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.3.2. Criterios de rezagos óptimos del modelo de Vectores Autorregresivos VAR

Una vez que se realizaron las respectivas pruebas de raíz unitaria, se procede a identificar el orden del VAR, para este estudio, se utiliza como máximo 8 rezagos, tal como se observa en la tabla 11, en el que además se presenta el criterio de información de Akaike (AIC), el criterio de información de Hannan & Quinn (HQ), el criterio información bayesiana de Schwarz (SC) y el error de predicción final de Akaike (FPE). Estos cuatro criterios se basan en la teoría de la información y se supone que indican la información relativa perdida cuando los datos se ajustan usando diferentes especificaciones (Lütkepohl, 2005). De acuerdo a dichos criterios el número óptimo de rezagos es tres (3) para la estimación del modelo.

**Tabla 11. Criterios de rezagos óptimos del modelo de vectores autorregresivos VAR**

Número de Rezagos	Criterios de Selección			
	AIC(n)	HQ(n)	SC(n)	FPE(n)
1	12,40570	12,49643	12,63091	244218,96963
2	12,18602	12,32211	12,52383	196111,55883
3	12,01721	12,19868	12,46764	165747,30457
4	12,09962	12,32646	12,66266	180159,19853
5	12,09768	12,36988	12,77332	180070,39541
6	12,14204	12,45960	12,93028	188620,09777
7	12,17454	12,53746	13,07538	195382,00940
8	12,22785	12,63615	13,24131	206810,61691

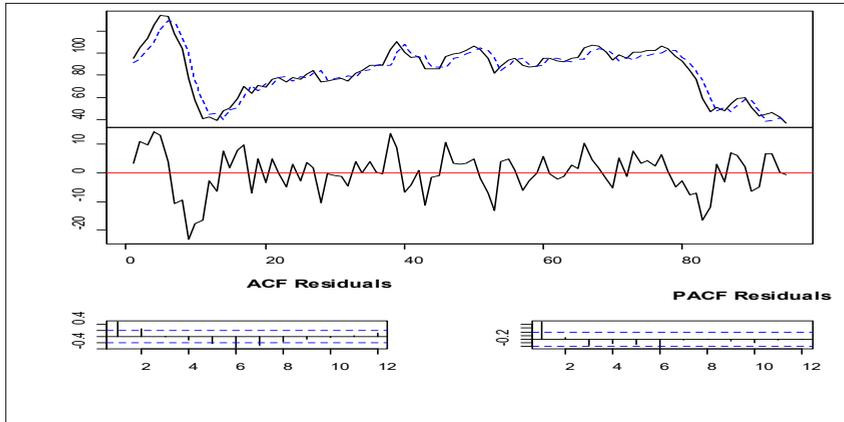
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Diagnóstico del modelo de Vectores Autorregresivos VAR

Luego de identificar el orden del VAR, que para este caso es de 3, es decir, se van a escoger 3 rezagos de acuerdo a los criterios de selección, se procede a graficar la variable observada versus la estimada y los correlogramas de los residuos, para después practicar las pruebas diagnósticas con respecto a los residuos.

El gráfico 8 presenta el comportamiento de las variables observadas y estimadas, donde se evidencia que la variable estimada (línea punteada) se ajusta a la variable observada el precio del petróleo, que es la misma variable independiente, lo cual es favorable puesto que indica una adaptación adecuada de esta variable para la estimación del modelo. En la parte inferior se observan las funciones de autocorrelograma simple y parcial, que señalan que los residuos son ruido blanco y sólo uno de ellos seis (6) sobrepasa los límites de confianza.

**Gráfico 8. Diagrama de ajuste y residuos del precio del petróleo**



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.4.1. Autocorrelación

La tabla 12 permite rechazar la hipótesis nula de que los residuales están correlacionados y aceptar la hipótesis alterna, es decir, la no existencia de correlación serial<sup>13</sup> entre los residuales.

$H_0$ : Correlación de los residuales

$H_1$ : Residuales no correlacionados

**Tabla 12. Prueba de autocorrelación**

Portmanteau Test (asymptotic)	
Chi-squared	105,22
P-value	0,00027

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.4.2. Normalidad de los residuales

Avanzando en el razonamiento, con la tabla 13 se tiene evidencia que los test para los residuales (Jarque-Bera, asimetría y curtosis), no se distribuyen normalmente, ya que presenta problemas en la curtosis y en el sesgo.

<sup>13</sup> Conforme con Pérez (2008) es la correlación en serie en la que un error positivo para una observación aumentando las posibilidades de un error positivo o negativo para otra observación.

**Tabla 13. Prueba de normalidad en los residuales**

Test	Chi-Squared	P-valor
Jarque-Bera test	41,647	1,974e-08
Skewness only	17,55	0,0001545
Kurtosis only	24,096	5,855e-06

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.3. Heterocedasticidad

En la tabla 14, la prueba de heteroscedasticidad, arroja un P-valor mayor al nivel de significancia, por lo tanto, los residuales si satisfacen el supuesto de varianza constante.

**Tabla 14. Prueba de Heteroscedasticidad o Varianza Constante**

Test	Chi-Squared	P-valor
ARCH multivariate	132,57	1,45e-10

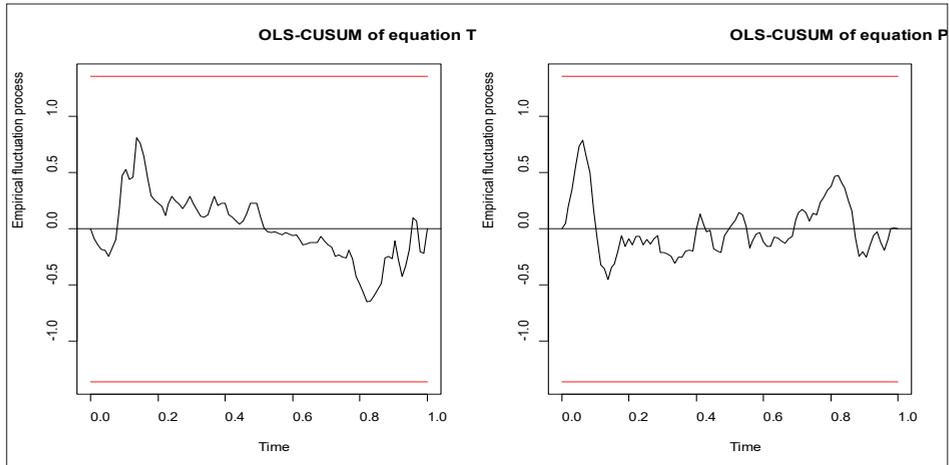
Fuente: Elaboración propia.

Al llegar a este punto, la prueba de estabilidad OLS-CUSUM permite verificar si se cumple el supuesto de estabilidad estructural del modelo. Dado que la región de aceptación de la prueba es una banda formada por las 2 líneas rectas rojas. A partir de los resultados del gráfico 9 se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa tanto para la ecuación de TRM como para la ecuación Precio del petróleo, porque en ninguno de los casos el estadístico CUSUM se sale de las bandas de confianza. Tal como lo menciona el Banco Central de Costa Rica BCCR (1996), se hace importante llevar a cabo esta prueba porque de no cumplirse el supuesto, en primer lugar, la estimación de los coeficientes produce resultados incorrectos y, en segundo lugar, las proyecciones resultan erróneas.

$H_0$ : Estabilidad estructural del modelo

$H_1$ : No estabilidad estructural del modelo

**Gráfico 9. Prueba de estabilidad OLS-CUSUM**



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.4.4. Pruebas de cointegración de Johansen

El enfoque de Johansen, consiste en estimar el modelo VAR por máxima verosimilitud<sup>14</sup> y analizar el rango de la estimación de la matriz; sugiere dos contrastes: el contraste de la traza y el contraste del máximo autovalor, con el fin de probar la existencia de correlación de las variables (Johansen, 1988). Continuando con las pruebas de especificación se realizan los test de Johansen para el modelo VAR identificado, donde la hipótesis nula es  $r=0$ , es decir, no existencia de vectores de cointegración, y la hipótesis alternativa es  $r < 1$ , lo cual señala la existencia de por lo menos uno o dos vectores de cointegración, por lo tanto, si el test es menor que cada uno de los niveles de significancia se rechaza la hipótesis nula.

La tabla 15 indica, que se rechaza la hipótesis nula de la no existencia de relaciones de cointegración y se acepta que existe al menos una relación de cointegración, ya que, el test posee un P-valor de 8.41, un valor menor frente a cada nivel de significancia. Por lo que los resultados llevan a concluir que existe una relación de cointegración entre el precio del petróleo y la TRM.

$H_0$ : No existen vectores de cointegración

$H_1$ : Existe un vector de cointegración

<sup>14</sup> Es un método habitual para ajustar un modelo y estimar sus parámetros (Londño, 2005).

**Tabla 15. Prueba de Johansen**

Ho	P-valor	Nivel de significancia		
	Test	0,1	0,05	0,01
$r \leq 1$	8,41	10,49	12,25	16,26
$r = 0$	26,17	22,76	25,32	30,45

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 16, conforme a los resultados de la prueba se rechaza la hipótesis nula de la no existencia de relaciones de cointegración y se acepta que existe al menos una relación de cointegración, ya que, el test posee un P-valor de 3.33, un valor menor frente a cada nivel de significancia. Así pues, los resultados permiten deducir que existe una relación de cointegración entre el precio del petróleo y la TRM.

**Tabla 16. Prueba de Johansen**

Ho	P-valor	Nivel de significancia		
	Test	0,1	0,05	0,01
$r \leq 1$	3,33	10,49	12,25	16,26
$r = 0$	16,60	22,76	25,32	30,45

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.5. Causalidad de Granger

Con estas pruebas, se busca comprobar que en efecto existe una relación entre las dos variables integradas al modelo, es decir, evaluar si el pasado de  $Y_t$  contribuye a predecir  $X_t$ , y viceversa, tal como lo afirman Engle & Granger (1987), para ello se determina el orden de cada variable (en este caso orden (1) para cada variable) y plantean las siguientes Hipótesis nulas vs. Hipótesis alternativas:

De acuerdo a la tabla 17 se acepta la hipótesis nula, que la TRM no causa en el sentido de Granger al Precio del petróleo, dado que el P-valor, 0.2391, es mayor al nivel de significancia de 0,05%, y se rechaza la hipótesis alternativa.

$H_0$ : No causalidad

$H_1$ : Causalidad

**Tabla 17. Prueba de causalidad de Granger en el sentido de la TRM al Precio de petróleo**

	Res.Df	Df	F	Pr (>F)
<b>Modelo 1</b>	92			
<b>Modelo 2</b>	93	-1	1,40	0,24

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 18 se acepta la hipótesis nula, que el Precio del petróleo, si causa en el sentido de Granger a la TRM, dado que el P-valor, 0.01078, es menor al nivel de significancia de 0,05%, y se rechaza la hipótesis alternativa.

$H_0$ : Causalidad

$H_1$ : No causalidad

**Tabla 18. Prueba de causalidad de Granger en el sentido del Precio de petróleo a la TRM**

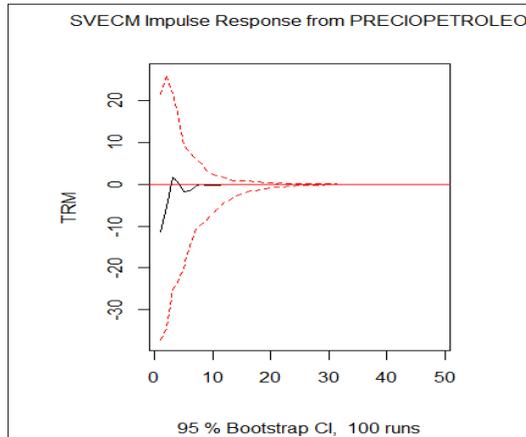
	Res.Df	Df	F	Pr (>F)
<b>Model 1</b>	92			
<b>Model 2</b>	93	-1	67,735	0,01078

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.5. Función impulso-respuesta

Para finalizar, se practica el análisis impulso-respuesta, el cual indica la respuesta dinámica de la variable dependiente en el sistema VAR ante choques en los términos de error o innovaciones de todas las variables endógenas, excluyendo los efectos de las variables exógenas (Lütkepohl, 2005). Para ello se retoman dos de las cuatro variables independientes agregadas (producción de petróleo de la OPEP y la producción de petróleo de Estados Unidos) para realizar las innovaciones. En el gráfico 10 se observa que la TRM presenta una disminución en el corto plazo ante cambios en la variación del Precio del petróleo, sin embargo, a largo plazo el efecto no es significativo, es decir, que a futuro los cambios en el Precio del petróleo no afectan el valor de la TRM. Lo que señala que shocks negativos sobre el Precio del petróleo, devalúan el valor del peso colombiano en el corto plazo, ya que la moneda nacional es dependiente de la divisa americana, y de las exportaciones de hidrocarburos, lo que induce a una disminución en los flujos de inversión extranjera. Con este resultado, se resuelve el objetivo principal de esta investigación, confirmando la relación causal entre el Precio del petróleo WTI sobre el Tipo de cambio en Colombia TRM.

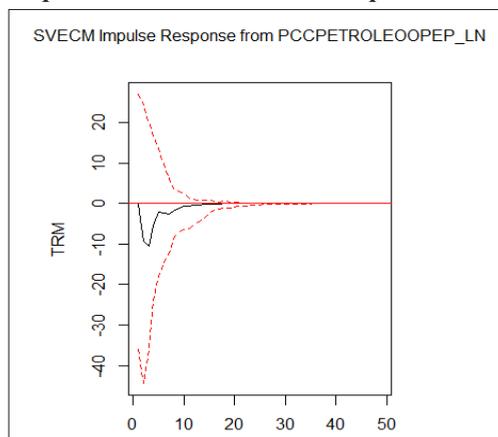
**Gráfico 10. Impulso Respuesta TRM vs Precio del petróleo**



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 11 se evidencia la devaluación de la TRM ante cambios en la producción de petróleo de la OPEP en el largo plazo, a pesar de no ser un país netamente petrolero, pero que, si se vio afectado por el descenso en los precios del petróleo presionados por las políticas de la OPEP, mientras que en el corto plazo el tipo de cambio en Colombia no es sensible a variaciones en la producción de crudo de dicha organización.

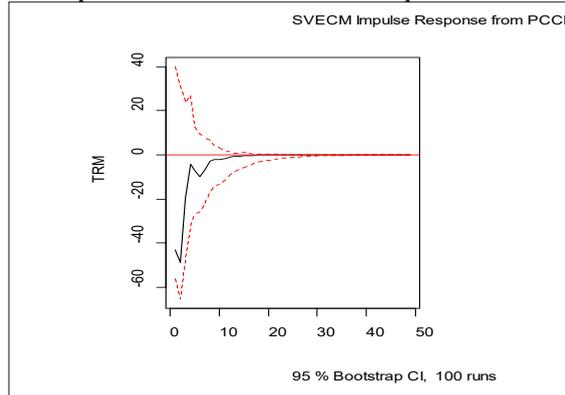
**Gráfico 11. Impulso Respuesta TRM vs Producción de petróleo OPEP**



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 12 se presentan los impactos del aumento en la producción de petróleo de Estados Unidos, explicada por el *fracking*, lo cual precipita la pérdida de valor de la TRM, debido a la independencia que logra el país americano al producir su propio crudo lo que causa un fortalecimiento del dólar y la reducción de exportaciones de hidrocarburos de Colombia hacia allá, en el largo plazo.

**Gráfico 12. Impulso Respuesta TRM vs Producción de petróleo de Estados Unidos**



**Fuente:** Elaboración propia.

## Conclusiones

A continuación, se señalan los resultados más relevantes para esta investigación, la cual utiliza la metodología de un modelo econométrico VAR con el fin de identificar la incidencia que tiene la fluctuación de los precios del petróleo sobre el tipo de cambio en Colombia durante 2008-2015. En primer lugar, se encuentra que para practicar la función de impulso-respuesta del modelo, aparte de las variables principales (TRM y precio del petróleo), se toman dos variables más (producción de petróleo OPEP y producción de petróleo de Estados Unidos) de las cuatro que fueron agregadas en la etapa de resultados, pero que posteriormente se excluyeron al no encontrarse altamente significativas, así pues, al enfrentar la TRM a los shocks de la producción de petróleo OPEP y la producción de petróleo de Estados Unidos sus impactos se reflejan en la pérdida de valor de la moneda colombiana en largo plazo.

En segundo lugar, se tiene que al aplicar los shocks del precio del petróleo (descenso de los precios en un 60,00%) a la TRM, esta responde a dichos cambios con la devaluación de la divisa colombiana en el corto plazo (depreciación del 40,00%), lo cual demuestra el objetivo principal de este trabajo, es decir, la relación

directa que existe entre el precio del petróleo sobre el tipo de cambio en Colombia, obedeciendo a que el sector de hidrocarburos es un oferente importante de divisas en el mercado cambiario del país, considerando que el petróleo y sus derivados son el principal rubro de exportaciones, con una participación del 55,20% (BRC, 2015). Lo anterior, además se corrobora con la prueba de causalidad de Granger, en la que se comprueba que en efecto existe una relación causal entre las dos variables, ya que el pasado de los precios del petróleo contribuye a predecir el comportamiento de la TRM. En tercer lugar, cabe resaltar los aportes de este estudio, puesto que resulta beneficioso para la academia dado que contribuye en la generación de nuevo conocimiento en la disciplina económica. Al mismo tiempo, sirve como referente para orientar futuras investigaciones que enriquezcan el tema, y a nivel práctico proporciona un fundamento para sugerir cambios en cuanto a política monetaria y cambiaria en el país, que le permitan afrontar y recuperarse de mejor manera ante las crisis, como el reciente fenómeno petrolero que desestabilizó el sector externo, las finanzas públicas, las regalías, los impuestos de renta, el empleo, el ingreso disponible, el consumo, el ahorro, la inversión, etc. Lo cual provocó un desajuste en la economía nacional por ser altamente dependiente del comercio del crudo. Por lo tanto, Colombia debe encaminarse en el fortalecimiento de su economía y el aprovechamiento de otros productos que puedan liderar sus exportaciones, además de los hidrocarburos. Por último, es importante mencionar que aun cuando se logró alcanzar el propósito de este trabajo todavía falta mucho por investigar; por lo que se recomienda a próximos estudios profundizar en el tema e incluir otras variables como la inversión extranjera directa o el grueso de las exportaciones del petróleo y sus derivados, entre otras, con el fin de ampliar y mejorar los resultados.

## Referencias

- Amado, E. U. (2000). *Introducción al análisis de series temporales*. Madrid: Alfa Centauro S.A.
- Banco Central de Costa Rica. (1996). Pruebas de estabilidad denominadas cusum y cusum cuadrado. Obtenido de <http://www.bccr.fi.cr/>.
- Banco de la República de Colombia. (2008). Borradores de economía Rentas petroleras, subsidios e impuestos a los combustibles en Colombia: ¿Qué ocurrió durante el choque reciente de precios? Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/>.
- Banco de la República de Colombia. (2009). Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República (Marzo de 2009). Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/>.

- Banco de la República de Colombia. (2010). Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República (Marzo de 2010). Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/>.
- Banco de la República de Colombia. (2015). Borradores de economía El choque petrolero y sus implicaciones en la economía colombiana (906). Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/>.
- Banco de la República de Colombia. (2015). Borradores de economía Precio del petróleo y el ajuste de las tasas de interés en las economías emergentes (901). Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/>.
- Banco de la República de Colombia. (2015). Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República (Julio de 2015). Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/>.
- Barriga, F. (2009). El petróleo y la crisis económica mundial: Una mezcla explosiva. *Polémika*, 36-43.
- Blanchard, O., Amighini, A., & Giavazzi, F. (2012). *Macroeconomía 5ª Edición*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Cuadrado Ebrero, A., García Jara, E., & Eslava Zapata, R. (2011). Información financiera en Internet Caso: Bolsa de Madrid y el Eurostoxx50. *Visión Gerencial*, 10(1), 57-70.
- Chacón, E., & Eslava, R. (2017). Aplicaciones de Software Científico para el análisis de datos en diseños mixtos de investigación. *Eco matemático*, 8(1), 110-119.
- del Val, M. (2014). Influencia del fracking en los mercados financieros. (*tesis de pregrado*). España: Universidad Pontificia Comillas.
- Domènech, J. M. (2012). Brent Blend, WTI. ¿Ha llegado el momento de pensar en un nuevo petróleo de referencia a nivel global? *Institut d'Estudis Financers*, 13, 1-11.
- Dornbusch, R., Fischer, S., & Startz, R. (2009). *Macroeconomía 10ª Edición*. México: McGraw- Hill.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Cointegration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica*, (55)2, 251-76.
- Eslava Zapata, R., Cuadrado Ebrero, A., & García Jara, E. (2010). Evaluación de la satisfacción de las necesidades de información de los usuarios contables con el análisis DELPHI. *Visión Gerencial*, 9(2), 313-331.

- Eslava Zapata, R., Pérez Carrero, O., & Aranguren Carrero, M. (2014). Metodología de la investigación: guía para la elaboración y presentación del trabajo de grado. *Hacer y Saber*, 3, 150-169.
- Fiorito, A., Guaita, N., & Guaita, S. (2014). Neodesarrollismo y el tipo de cambio competitivo. *Revista Cuadernos de Economía de la Universidad Nacional de Colombia*, 34(64), 45-88. doi: 10.15446/cuad.econ.v34n64.47385.
- Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo. (2015). Informe de conyuntura petrolera. Obtenido de <http://www.fedesarrollo.org.co/>.
- García Jara, E., Cuadrado Ebrero, A., & Eslava Zapata, R. (2011). Effect of international financial reporting standards on financial information quality. *Journal of Financial Reporting & Accounting*, 9(2), 176-196.
- Goodfriend, M., & Whelpley, W. (1986). Federal funds: instrument of Federal Reserve policy. *Instruments of the Money Market*, 6th Edition. Obtenido de <https://www.richmondfed.org/>.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría: Damodar N. Gujarati y Dawn C. Porter 5ª Edición*. México: McGraw Hill.
- Hamilton, J. D. (1994). *Time Series Analysis*. Obtenido de <http://virtualpanic.com/>.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 231–254.
- Krugman, P., & Obstfeld, M. (2006). *Economía Internacional Teoría y Política 7ª Edición*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Libreros, D., Gómez, J. F., & Galindo, C. A. (2014). La caída de los precios del petróleo, la devaluación del peso y el aumento de la deuda pública. *Revista Kavilando*, 6(1), 53-62.
- Londoño, W. (2005). Modelos de ecuaciones múltiples modelos var y cointegración. (*tesis de maestría*). Colombia: Universidad EAFIT.
- Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Recuperado de <http://www.afriheritage.org/>.
- Merino, P. A., & Matilla, J. R. (2015). Evolución reciente del mercado del petróleo. *Revistas Ice*, 3062, 27-35.

- Novalés, A. (2014). *Modelos vectoriales autoregresivos (VAR)*. Madrid: Universidad Complutense.
- Pérez, C. (2008). *Econometría avanzada, técnicas y herramientas*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Perilla, J. R. (2010). El impacto de los precios del petróleo sobre el crecimiento económico en Colombia. *Revista de Economía del Rosario*, 75-116.
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2009). *Microeconomía 7ª Edición*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). Colombia frente a una destorcida en los precios del petróleo. Obtenido de <http://www.undp.org/>
- Quintana, S., & Polanía, J. P. (2008). El impacto y la relación del petróleo con las monedas latinoamericanas. (*tesis de pregrado*). Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica*, 48, 1-48.
- Sims, C. A. (2011). Statistical Modeling of Monetary Policy and Its Effects. *The American Economic Review*, 102(4), 1187-1205.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). Cadena del petróleo. Obtenido de <http://www.upme.gov.co/>.
- Uribe, J., Jiménez, D., & Fernández, J. (2015). Regímenes de volatilidad del tipo de cambio en Colombia e intervenciones de política. *Revista Investigación Económica de la Universidad Nacional Autónoma de México*, LXXIV(293), 131-170.
- U.S. Energy Information. (Varios años.). U.S. Energy Information. Open data access. Obtenido de EIA: <https://www.eia.gov/opedata/>