

Efectos de los precios del petróleo sobre el tipo de cambio en Colombia (2003 - 2020): Un enfoque SVAR.

Harold Stiven Acuña Alaguna
Germán Camilo Ardila Mahecha

Autores

Trabajo de Grado

Monografía

Modalidad

Diana Patricia Gutiérrez Mejía

Director

Crecimiento y desarrollo.

Línea de investigación medular

Programa de Economía

Facultad de Economía

Universidad Santo Tomás

Bogotá D.C., julio 2021

	2
Tabla de contenido	
1. Introducción	5
2. Antecedentes	6
2.1 Marco teórico	10
3. Hechos estilizados	13
3.1 Modelo Mundell-fleming	13
3.2 Enfermedad holandesa	15
4. Metodología desarrollada	17
4.1 Alcance	17
4.2 Fases	18
4.3 El modelo	18
4.4 Variables	22
5. Resultados	21
5.1 Contexto mundial	21
5.2 Contexto nacional	25
5.3 Resultados del modelo	31
5.4 Análisis de resultados	35
6. Conclusiones	39
7. Referencias	44
8. Anexos	49

Resumen

Los efectos de los precios del petróleo en el tipo de cambio pueden afectar las variables macroeconómicas de un país y a la vez, se ven afectadas las decisiones y políticas de consumo e inversión tanto desde un punto de vista micro cómo de macro. Este trabajo busca desde la implementación de un modelo VAR estructural (SVAR), analizar y poder responder los efectos que tienen los precios del crudo sobre el tipo de cambio en Colombia. Para ello se realiza un acervo literario basado en la búsqueda de autores y papers, cuyo fin es conceptualizar el estado del arte y asimismo la historia o los antecedentes que esta conlleva; luego, presentar un modelo junto con las variables estudiadas que en este caso son la Tasa Representativa del Mercado (TRM), el Índice de Precios al Consumidor (IPC), el Índice de Precios al Productor (IPP) y los precios del barril Brent. Por último, se llega a unos resultados que permitirán hablar de la problemática inicial y así poder generar una conclusión con base a lo posteriormente investigado que proporcione respuesta a las incidencias del valor del petróleo en el tipo de cambio.

Palabras clave: Tipos de cambio, crecimiento económico, precios del petróleo, modelo SVAR.

Abstract

The effects of oil prices on the exchange rate can affect the macroeconomic variables of a country and at the same time, consumption and investment decisions and policies are affected both from a micro and macro point of view. This work seeks from the implementation of a structural VAR model (SVAR), to analyze and be able to answer the effects that oil prices have on the exchange rate in Colombia. For this, a literary collection is made based on the search for authors and papers, whose purpose is to conceptualize the state of the art and also the history or the antecedents that this entails; then, present a model together with the variables studied, which in this case are the Representative Market Rate (TRM), the Consumer Price Index (CPI), the Producer Price Index (PPI) and the prices of a barrel of Brent. Finally, some results are reached that will allow us to talk about the initial problem and thus be able to generate a conclusion based on what was subsequently investigated that provides an answer to the impact of oil prices on the exchange rate.

Keywords: Exchange rates, economic growth, oil prices, SVAR model.

1. Introducción

Colombia ocupa el cuarto lugar como país productor de petróleo en América Latina (BP, 2021), dicho sector ha representado el 38,64% de las exportaciones en promedio del país para el periodo 2006 - 2020 según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística¹ (DANE), lo cual evidencia su importancia para la economía nacional. Además, aporta más del 15% de los ingresos del Gobierno Central (Contraloría General de la Nación, 2016), por lo cual una variación en los precios del petróleo puede afectar el tipo de cambio frente al dólar en el país; lo que a su vez puede llevar a tomar diferentes decisiones y políticas públicas por parte del Estado en cuanto al consumo, producción e inversión. Así mismo, influye en los hogares y las empresas colombianas. Adicional a lo anterior, algunas crisis que han ocurrido en el siglo XXI, como la Subprime y la pandemia por el COVID-19, han generado volatilidad en los precios del petróleo desencadenando fuertes choques y contracciones en la economía mundial, tal como ocurrió durante la crisis vivida en 2014 por la fuerte caída de los precios del crudo, consecuencia del exceso de oferta por parte de Estados Unidos, que pasó de 112 dólares tipo Brent y 105 dólares West Texas Intermediate (WTI) dólares (Gutiérrez Mejía, Nauzán Ceballos, Duarte Ballén y Galeano Cortés, 2018) a 30 dólares por barril, lo que afectó de forma negativa las finanzas públicas y la producción petrolera en el país (Contraloría General de la Nación, 2016).

En ese sentido, a lo largo de los años, y en la actualidad, el precio del petróleo ha sido una variable que afecta los ingresos de los países que lo producen, y en específico a aquellos en vía de desarrollo como Colombia, pues los costos de producción varían al consumir derivados, como los combustibles, y estos a su vez influyen en las decisiones de consumo de los hogares donde el

¹ Exportaciones totales, según grupos de productos OMC a partir de la agregación CUCI Rev.3 (sección y capítulos constitutivos) 2006p- 2021p (Enero) (DANE, 2021).

ingreso disponible cambia. También genera presiones cambiarias que disminuyen la competitividad de “sectores dedicados a producir bienes transables en el mercado internacional” (Perilla, s.f.) dado que puede encarecer las importaciones, mejorar o empeorar los ingresos del Gobierno Central, lo que genera un cambio en las decisiones macroeconómicas, además de cambios en la calidad de vida, principalmente de los ciudadanos de las regiones dependientes del petróleo (Gutiérrez Mejía, Nauzán Ceballos, Duarte Ballén y Galeano Cortés, 2018); en los precios del mercado y en la tasa de desempleo del país, entre otros tantos efectos.

Por lo anterior, es necesario analizar los efectos de dichas alteraciones en las variables macroeconómicas para lo cual se toma el periodo 2003 - 2020, puesto que permite abordar varias crisis, incluida la generada por el Covid-19, de tal forma que, a partir de esta investigación, sea posible vislumbrar dinámicas que existen entre los precios del crudo y la tasa representativa del mercado para el caso colombiano.

En virtud de lo expuesto, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿cuáles son los efectos de las variaciones de los precios del petróleo sobre el tipo de cambio en Colombia en los años 2003 - 2020 y su incidencia en la economía actual?

Con el fin de dar respuesta a dicha pregunta, se pretende describir el contexto del sector petrolero en Colombia entre 2003 y 2020; se identifican también las variables económicas que se ven afectadas por las alteraciones del precio del petróleo, incluyendo el tipo de cambio frente al dólar, a partir de la teoría económica y un modelo econométrico; finalmente, se establece la relación existente entre los precios del crudo, la tasa de conversión y otras variables macroeconómicas para el periodo 2003 - 2020 en Colombia, lo que, en principio, se espera sirva

como instrumento para para la generación de estrategias y de políticas públicas que permitan mitigar dichos efectos.

2. Antecedentes

En relación con lo dispuesto anteriormente, algunos autores plantean una conexión entre los precios del petróleo y una gran cantidad de variables macroeconómicas donde se encuentran las tasas de cambio. Por ejemplo, Rivera, Toro y Marcos (2017) realizaron una investigación donde relacionan las tasas de interés de referencia y los precios del petróleo bajo la implementación de modelos de regresión por mínimos cuadrados ordinarios GARCH y VAR, y llegan a la conclusión de que los precios del petróleo y la tasa representativa del mercado o están relacionados de manera negativa; Fratzscher, Schneider y Van Robays (2013) por su parte, toman una perspectiva del mercado financiero examinando la relación entre los precios del crudo con respecto al dólar norteamericano y los precios de los activos, donde evalúan interrelaciones a partir de un modelo VAR de seis variables. Los autores concluyen que la relación entre los precios del petróleo y las tasas de cambio tiende a ser negativa, donde un incremento del 10% en el precio del petróleo lleva a una depreciación del 0.28% en las tasas de cambio efectivas.

Hernández y González (2016) estudian la relación entre el nivel del precios del crudo y variables macroeconómicas como el PIB, la tasa de cambio real y el balance fiscal durante dos periodos 1982 - 2013 y 2000 - 2013. Para ello los autores utilizan vectores autorregresivos con el fin de analizar las funciones de impulso respuesta, y llegan a la conclusión de que los cambios en los precios del petróleo afectan positivamente al PIB junto con algunas interacciones con el balance fiscal; Guerrero, Caraballo y Fajardo (2018) analizan la relación entre la tasa de conversión y la variación de los precios del crudo en Colombia, entre los años 2008 y 2015, a través de la metodología VAR para cuantificar el efecto que produce las variaciones del precio del crudo en los tipos de cambio, y hallan una relación directa entre el tipo de cambio y los

precios del petróleo a corto plazo. Por el contrario, Acero (2017) evalúa el efecto de transmisión de distintas variables macroeconómicas en el tipo de cambio real para la economía colombiana en los años 1998 y 2007 bajo una metodología de vectores de cointegración, posteriormente realiza un análisis de impulso respuesta corroborando que existe una relación inversa entre los precios del petróleo y los tipos de cambio.

Por otro lado, Basher, Haug y Sadorsky (2011) proponen y estiman un modelo de autoregresión para investigar la relación dinámica entre los precios del petróleo, las tasas de cambio y los mercados emergentes, y concluyen que los shocks positivos en los precios del petróleo tienden a deprimir los precios de las acciones de los mercados emergentes y a los tipos de cambio del dólar estadounidense a corto plazo. Shiu Chen y Hung Chen (2006) investigan la relación a largo plazo entre los precios reales del petróleo y los tipos de cambio reales utilizando un panel mensual de países del G7 desde enero de 1972 hasta octubre de 2005. Los autores probaron si los tipos de cambio están cointegrados con los precios reales del petróleo evidenciando que los precios reales del petróleo fueron la fuente dominante de los movimientos del tipo de cambio real, junto con el vínculo existente entre los precios reales del crudo y la cotización de divisas en términos reales, de tal forma que concluyen que las estimaciones de regresión predictiva de panel sugieren que los precios reales del petróleo tienen un poder de pronóstico significativo.

Khraief, Shahbaz, Mahalik y Bhattacharya (2020) investigan el impacto de los precios del crudo en los tipos de cambio reales en China e India donde se empleó el modelo de retardo distribuido autorregresivo no lineal adelantado por Shin et al. (2014), el cual permite el traspaso de asimetría, tanto a corto como a largo plazo, a una variable de interés. Los precios del crudo y

los tipos de cambio suelen ser ruidosos para detectar la relación precisa entre los precios del petróleo y los tipos de cambio; se utiliza la transformación de ondas discretas de superposición máxima para eliminar el ruido de la serie original. Al final se encuentran sólo efectos asimétricos a largo plazo de los precios del petróleo sobre los tipos de cambio de ambos países; sin embargo, después de la eliminación de ruido de series de tiempo, el efecto asimétrico a largo plazo se vuelve simétrico para India.

Jahan-Parvar & Mohammadi (2011) buscan en su estudio verificar la existencia de la hipótesis de la enfermedad holandesa utilizando datos reales del tipo de cambio y precios del petróleo de los catorce principales países exportadores de petróleo, por medio de Autoregressive Distributed Lag (ARDL), cuyos resultados muestran que existe una relación estable entre las variables estudiadas respaldando así la hipótesis de la enfermedad holandesa.

2.1 Marco teórico

Pindyck & Rotemberg (1990) comprueban la existencia de un persistente movimiento de los precios de las materias primas tales como el algodón, el oro, el cobre, el trigo, la madera, el petróleo, entre otros. Las principales variables que explican este comportamiento son las variables macroeconómicas de manera directa, por medio de la variación de la producción industrial, lo que afecta de manera especulativa debido al flujo de la tasa de cambio o las tasas de interés, que fluctúan constantemente las expectativas sobre futuros precios, stock y demanda; por lo que aumentar o disminuir los stocks de materias primas condiciona su precio.

Por otro lado, Beckman, Czudaj y Arora (2020) realizan una investigación teórica y empírica existente sobre la relación entre los precios del petróleo y los tipos de cambio, empezando con canales de transmisión teóricos que apuntan a una causalidad bidireccional. La

investigación empírica está clasificada y muestra que la evidencia varía sustancialmente según la muestra, la elección del país y el método empírico. Sin embargo, existen algunos patrones comunes pues con frecuencia se observan fuertes vínculos entre los tipos de cambio y los precios del petróleo a largo plazo.

Ahora bien, Jiang, Feng, Mo y Nie (2020) emplean un enfoque bajo un modelo de quantile-on-quantile y causality-in-quantiles, para abordar empíricamente los efectos de las perturbaciones de los precios del crudo en los tipos de cambio de los países desarrollados y en desarrollo, donde se encuentra que la evidencia de los efectos de las crisis del petróleo en los tipos de cambio varía entre cuantiles. Además, los efectos y la causalidad de las perturbaciones del precio del petróleo son asimétricos y la pendiente del coeficiente en el análisis cuantílico sobre cuantiles muestra una fluctuación relativamente extrema. Así mismo, para las monedas desarrolladas, la relación causal de Granger, tanto en la media como en la varianza que va de los choques petroleros a los tipos de cambio, es siempre evidente en todos los cuantiles, mientras que, para los países en desarrollo, el flujo causal en el primer y segundo momento es insignificante en cuantiles medios.

Por su parte Sadorsky (2000), estudió más a fondo esta temática ya que investiga la interacción de los precios futuros de bienes energéticos con el tipo de cambio, utilizando la metodología de corrección de errores vectoriales de Johansen, encontrando que los precios futuros del petróleo, el combustible para calefacción y la gasolina está cointegrada con el índice de tipo de cambio ponderado, es decir, que existe una relación de largo plazo. Adicionalmente, halló evidencia que sugiere que los tipos de cambio transmiten choques exógenos en los precios futuros de los energéticos, apoyando la tesis de Pindyck & Rotemberg.

No obstante, Krugman (1983) demostró que los países que son dependientes del petróleo tienden a depreciarse después de una crisis petrolera y los países exportadores tienden a apreciarse, esto lo demuestra bajo la formulación de un modelo de balanza comercial. Adicionalmente formula dos modelos más, para dar un mejor enfoque a las dinámicas del tipo de cambio en razón de los precios del petróleo. Estos modelos tienen en cuenta la dinámica de los flujos de capital y la especulación, lo que brinda más connotación al modelo inicial, evidenciando que las expectativas tienen un papel importante pues influyen sobre la oferta y la demanda, en especial las expectativas de largo plazo, afectando de manera directa el corto plazo y el equilibrio de la balanza de pagos.

Consecuentemente, Krugman (1983), en su artículo de precios del petróleo y el dólar, expone una serie de modelos para poder demostrar los impactos que se pueden llegar a dar por los precios del crudo sobre las tasas de conversión. Muestra que depende de variables tanto macroeconómicas como de elasticidad de la demanda de petróleo, e incluso especulaciones; por último, el autor dispone que, si el precio del petróleo aumenta, entonces así mismo aumentará el valor de la moneda de países exportadores de petróleo.

3. Hechos Estilizados

3.1 Modelo Mundell-fleming

Para lograr establecer una relación conviene revisar el Modelo Mundell-Fleming, el cual es un modelo propio de una economía abierta, que por un lado considera que existe un equilibrio local o interno, el cual se basa en los supuestos de que es una economía pequeña y abierta, libre movilidad de capitales, dos regímenes de tipo de cambio, flexible y fijo , adicionalmente toma en cuenta dos variables como lo son el gasto público y la oferta monetaria. El modelo contempla la igualdad entre el ahorro y la inversión definida comúnmente como la Curva IS, adicionalmente el modelo contempla que la oferta monetaria es igual a la demanda de dinero conocida como la curva LM, por último se toma en cuenta el sector externo por medio de la balanza de pagos, tomando en cuenta el supuesto de que el tipo de cambio es estable o un saldo nulo, esto depende del tipo de cambio en el cual se está analizando, por lo que las consideraciones de este sector se define como la curva BP (Escobar, 2012).

Considerando que el modelo está planteado para describir los efectos de los distintos tipos de política económica tales como políticas fiscales, monetaria o comercial, para vislumbrar la relación de las variables estudiadas, el análisis se toma a partir del efecto de las variaciones de la balanza de pagos, ya que, cuando fluctúa la balanza de pagos, el tipo de cambio se mueve en razón de esta fluctuación, equilibrando el modelo, por lo que cuando la balanza de pagos no esté en equilibrio, el ajuste se dará por medio de la tasa de cambio, entonces, si se da un superávit en la balanza de pagos se dará una apreciación del tipo de cambio, de forma contraria, si se da un déficit en el mercado externo, el tipo de cambio sufrirá depreciaciones (Escobar, 2012).

A pesar de ello, se debe tomar en cuenta el efecto que posee la tasa de interés, ya que, si se está en equilibrio y se da un aumento en el gasto público, hará que se dé un desplazamiento de la curva IS hacia la derecha, ocasionando que la tasa de interés interna sea mayor que la externa, generando así una apreciación de la moneda local y un daño al mercado exportador del país, puesto que encarece los productos de exportación.

Tabla 1: *Variaciones entre los saldos de la balanza de pagos y las variaciones de la TRM*

Año	Variación saldo Cuenta Corriente	Variación saldo Cuenta Financiera	Variación Promedio Anual de la TRM
2003	-29%	-27.9%	-8.7%
2004	-15%	-14.9%	-11.7%
2005	151%	110.8%	1.6%
2006	54%	90.0%	-11.9%
2007	106%	97.5%	-5.4%
2008	6%	22.4%	9.8%
2009	-32%	-28.1%	-12.0%
2010	94%	87.5%	-2.7%
2011	13%	-6.7%	-2.7%
2012	20%	32.7%	3.9%
2013	6%	1.6%	7.1%
2014	60%	64.3%	37.0%
2015	-6%	-6.4%	11.4%
2016	-33%	-31.7%	-3.4%
2017	-20%	-22.0%	0.2%
2018	40%	34.6%	11.0%
2019	6%	2.7%	12.6%
2020	-34%	-37.5%	-100.0%

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de la República

La Tabla anterior muestra cómo es la interacción entre la variación de los saldos corrientes y financieros de la balanza comercial, con la variación del promedio anual de la Tasa

Representativa del Mercado, donde se puede observar que en algunos años se puede observar el efecto de la balanza comercial en la tasa de cambio ya que en los años 2003,2004,2009, etc, en los cuales se da un déficit en el mercado externo con depreciaciones de la TRM; consecuentemente, se evidencia en la Tabla 1 que en los años 2005,2008,2012,2013 etc, que se presenta un superávit en los saldos de la balanza comercial con el tipo de cambio acrecentado. Aunado a lo anterior, el comportamiento del tipo de cambio a partir del modelo mundell-Fleming, puede evidenciarse el efecto de la balanza de pagos con el tipo de cambio, ya que en la mayoría de los años estudiados se da el comportamiento descrito por el modelo, a pesar de que existan años en los que no concuerdan, se debe tener en cuenta el efecto tanto de la tasa de interés, como de las diversas políticas hechas en dichos períodos, que pudieron generar este comportamiento.

3.2 Enfermedad Holandesa

El concepto de síndrome holandés hace referencia a los efectos negativos de los beneficios inesperados obtenidos como consecuencia del descubrimiento de nuevos recursos (Corden y Neary. 1982), a su vez como el conjunto de consecuencias que afectan a una economía debido a la irrupción más o menos abrupta de un sector productivo relevante, vinculado a las exportaciones, de crecimiento más dinámico que el resto de las actividades productivas (Jeftanovic, P. 2010), también a la situación en la cual un sector de exportación en auge hace que se incrementen los precios de los productos no transables y los servicios, lo cual afecta adversamente el sector de los productos transables (Meisel, A. 2010), por lo tanto es la medida en que las entradas de capital destinadas a dichas actividades predominen sobre el resto, y, como

resultado, en que de la misma forma y proporción evolucionen sus exportaciones, se provocan fuertes presiones sobre la apreciación del peso. Y el consiguiente debilitamiento de la competitividad de los sectores transables como agro e industria (Cano, G. 2013).

Básicamente se puede describir al síntoma holandés como la forma en que los beneficios inesperados en un país pueden llegar a provocar una apreciación en la moneda local sobre las extranjeras, seguida por disminuciones de la competitividad y del producto en el sector comercial o bien puede ser la economía interna junto a sus respectivas exportaciones.

Ahora bien, se puede encontrar una relación teórica entre el tipo de cambio y la variación de los precios del petróleo en cuanto a la enfermedad holandesa esto se debe a que si por ejemplo ya fuese en un país industrializado, potencia o en un país en vía de desarrollo, se encontrara una nueva fuente de un recurso como lo puede ser el petróleo, entonces se tendrá un aumento en las exportaciones del crudo generando una bonanza económica, sin embargo si se utiliza dicha bonanza en la importación no se afectará o habrán cambios en la economía interna del país, mas sin embargo, si estas bonanzas se utilizan para imprimir su propia divisa o bien para adquirir bienes nacionales no comerciados, entonces “todo dependerá de si el tipo de cambio del país lo fija el banco central o es flexible” (Pereira, L. 2008) por lo tanto si el tipo de cambio es fijo, la tasa de cambio de divisas extranjeras generará un aumento en la paridad de poder adquisitivo de la moneda local, aumentando la masa monetaria del país, por consiguiente, la demanda interna en esta generará un aumento en los precios locales, lo que a su vez presiona el crecimiento y desarrollo del sector petrolero en el país, por otro lado, Sierra y Manrique (2014), tienen cómo objetivo de su estudio evaluar uno de los síntomas del llamado síndrome holandés, analizando el impacto de la apreciación del tipo de cambio efectivo real en el valor agregado de 63 sectores

industriales de Colombia entre 2000 y 2010, cómo resultado las autoras llegan a que según la hipótesis del síndrome holandés, tiene lugar una caída de la producción y del empleo. No obstante, cuando el grado de apertura de la economía no es muy grande, como sucede en el caso de Colombia, estos efectos no desfavorecen necesariamente a todos los sectores manufactureros.

Por lo tanto, aunque lo expuesto anteriormente deja ver una incidencia de los precios del petróleo sobre el tipo de cambio, es necesario realizar una investigación tanto histórica como econométrica para poder vislumbrar la existencia de dichas incidencias o efectos que se puedan llegar a dar.

4. Metodología desarrollada

La metodología establecida es cuantitativa de tal manera que se centrará en medir el impacto de los precios del petróleo en el tipo de cambio, bajo la metodología un modelo de Vector Autorregresivo Estructural (SVAR), dado que este se utiliza para caracterizar las interacciones simultáneas entre un grupo de variables, además de ser muy útil cuando existe evidencia de simultaneidad entre un grupo de variables (Novales, 2011), lo cual se considera pertinente a la problemática establecida y los datos recolectados a la fecha. En ese sentido, a continuación, se desarrolla la ruta utilizada para llevar a cabo la investigación.

4.1 Alcance

El alcance de este trabajo es correlacional en virtud de que se enfoca en estudiar las posibles incidencias que puede llegar a tener el precio del petróleo en las tasas de conversión, y cómo afectan estas al crecimiento y desarrollo del país en tiempos de pandemia, pues durante este periodo se dio un gran choque en las variables macroeconómicas, precios de los distintos bienes y commodities.

A la vez, el alcance también es explicativo debido a que está dirigido a encontrar las dinámicas del petróleo, para así mismo ver su impacto en la tasa de cambio.

4.2 Fases

Fase 1: se realiza la revisión de literatura con el fin de contextualizar el sector petrolero en Colombia para el periodo de estudio; adicionalmente se establecen las variables y el modelo desde la teoría.

Fase 2: se realiza la consecución de los datos a través de diferentes bases de datos como las del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), entre otros. Se consolidan las variables necesarias para llevar a cabo la investigación y se valida el modelo por expertos, para luego correrlo por medio del paquete estadístico Eviews. El modelo contempla que todas las variables dependen unas de otras y de los rezagos de sí mismas y se pueden estimar por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCO) de manera individual o por máxima verosimilitud (Montenegro, 2010).

Fase 3: a partir de los resultados obtenidos, junto con la revisión de literatura, se realiza el análisis detallado para dar cumplimiento al objetivo general.

4.3 El modelo

El modelo contempla que todas las variables son endógenas y simultáneas, es decir, que dependen unas de otras, y de los rezagos de sí mismas. Este sistema contempla una serie de ecuaciones de forma reducida que no contienen términos de promedios móviles en el error, motivo por el cual un modelo VAR(p) se expresa de la siguiente manera:

$$X_t = A_0 + A_1x_{t-1} + A_2x_{t-2} + \dots + A_px_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde el parámetro A_0 se entiende como un vector $m \times 1$ de constantes, $A_1, \dots, A_p$ son matrices con coeficientes de orden $m \times m$, finalmente el término ε_t tiene un orden m que generalmente se toma como shocks e innovaciones, y éstas individualmente son ruido blanco. En ese sentido, las variables se pueden estimar por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCO) de manera individual o por máxima verosimilitud, ya que la ecuación de forma reducida no tiene términos de promedios móviles en el error y, por ende, al estimar por medio de la metodología VAR tiende a seguir la misma lógica de los MCO. La diferencia radica en que el valor esperado de las variables en un VAR, no solo dependen de las constantes y el valor esperado de sus propios errores, sino que también contemplan los valores esperados de las constantes y términos de error de las demás ecuaciones contempladas (Montenegro, 2010).

Para conocer el valor de p en el modelo con n observaciones, se pueden utilizar el criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información de Schwarz (SC); adicionalmente, se debe tener en cuenta que los resultados de ε_t en la estimación deben ser ruido blanco, es decir, que sean independientes o al menos no tengan correlación serial (Montenegro, 2010).

En consecuencia, los Vectores Autorregresivos Estructurales (SVAR) permiten la interacción contemporánea entre variables, es decir, que las variables no solo dependen unas de otras y sus rezagos, sino que toma en cuenta también los valores presentes de las demás variables (Montenegro, 2010).

El modelo SVAR se expresa de la siguiente manera, partiendo de

$$X_t = [TRM_t, OP_t, IPP_t, IPC_t]:$$

$$AX_t = \Gamma_0 + \Gamma_1 x_{t-1} + \Gamma_2 x_{t-2} + \dots + \Gamma_p x_{t-p} + w_t \quad (2)$$

Donde A es la matriz de coeficientes contemporáneos de orden $k \times k$ de las variables endógenas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que una característica fundamental de un SVAR es que la matriz de varianza covarianza de los errores es diagonal, por lo que el término w_t se relaciona con los errores ε_t de la siguiente manera:

$$w_t = B_0 \varepsilon_t \quad (3)$$

El B_0 juega un papel importante en la descomposición de Choleski, ya que cumple el papel de P^{-1} , esta matriz logra ortogonalizar los errores de la forma reducida, por lo cual si se debe premultiplicar el SVAR por el inverso de B_0 :

$$X_t = B_0^{-1} \Gamma_0 + B_0^{-1} \Gamma_1 x_{t-1} + B_0^{-1} \Gamma_2 x_{t-2} + \dots + B_0^{-1} \Gamma_p x_{t-p} + B_0^{-1} w_t \quad (4)$$

El modelo en forma reducida en la notación usual quedaría de la siguiente forma:

$$X_t = Z_0 + Z_1 x_{t-1} + Z_2 x_{t-2} + \dots + Z_p x_{t-p} + w_t \quad (5)$$

Donde $Z_p = B_0^{-1} \Gamma_p$ y $w_t = B_0^{-1} w_t$, pero si bien este último término de error supone que son ortogonales, al ser función de los estructurales tendrán una correlación entre ellos, por lo que será necesario estimar los errores de w_t a partir de la información contenida en la estimación en la forma reducida. Pero al llevar a cabo este procedimiento generará una matriz de varianza covarianza de ε_t , dejando un sistema de m^2 ecuaciones con incógnitas de m^2 elementos de B_0

más los m elementos de la matriz diagonal, resultando en expresiones no lineales en los elementos B_0^{-1} por lo que no puede existir su solución (Montenegro, 2010).

Por ende, se utilizan restricciones para identificar B_0 , las de corto y largo plazo. Para esto contempla las de largo plazo ya que esta restricción brinda un análisis real de los shocks entre variables, las cuales suponen neutralidad, es decir, que los elementos de w_t no afectan de manera significativa a algunas variables de X_t de forma acumulativa en el largo plazo, por ello en la función impulso respuesta, este tiene que ser cero de forma acumulativa para un impulso $t = 0$, se puede expresar de la siguiente manera partiendo de (4):

$$X_t = B_0^{-1}\Gamma_0 + B_0^{-1}\Gamma_1x_{t-1} + B_0^{-1}\Gamma_2x_{t-2} + \dots + B_0^{-1}\Gamma_px_{t-p} + B_0^{-1}w_t \quad (4)$$

$$X_t = B_0^{-1}[\Gamma_1L + \Gamma_2L^2 + \dots + \Gamma_pL^p]x_t + B_0^{-1}w_t \quad (6)$$

$$[1 - B_0^{-1}\Gamma(L)]x_t = B_0^{-1}w_t \quad (7)$$

$$X_t = [1 - B_0^{-1}\Gamma(L)]^{-1}B_0^{-1}w_t \quad (8)$$

Donde $\Gamma(L) = \Gamma_1 L + \Gamma_2 L^2 + \dots + \Gamma_p L^p$ y $[1 - B_0^{-1} \Gamma(L)]^{-1} B_0^{-1}$ es el efecto acumulativo

sobre X_t de un shock o impulso proveniente de w_t , por lo que la restricción consiste en igualar a

cero cada elemento de la matriz $[1 - B_0^{-1} \Gamma(L)]^{-1} B_0^{-1}$ de una variable. Sin embargo, esta es

una decisión que se debe dar con algún sustento teórico. Ya con la restricción contemplada, se obtienen las ecuaciones suficientes para dar solución a B_0 (Montenegro, 2010).

4.4 Variables

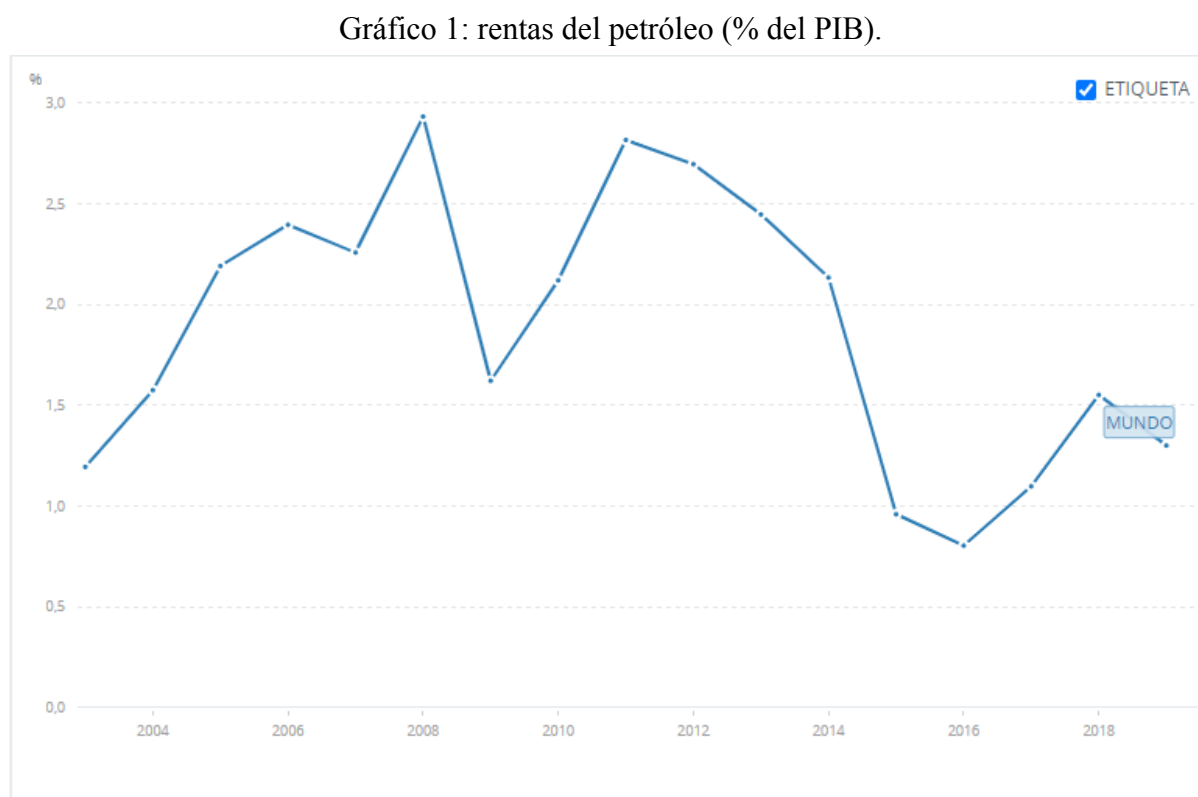
Tabla 2: *variables del modelo*

Variable Dependiente o Endógena	Descripción	Notación	Tipo	Medición
TRM	Es la cantidad de pesos colombianos por un dólar de los Estados Unidos. (Banrep, 2021)	TRM_i	Cuantitativa o numérica.	>0
Variable Independiente o Exógena	Descripción	Notación	Tipo	Medición
Brent	Esta variable mide el precio de venta del barril brent a lo largo de los años de estudio.	OP_i	Cuantitativa o numérica.	>0
IPP	Es la variación promedio de los precios de una cesta de bienes que se producen en el país. (Dane, 2021)	IPP_i	Cuantitativa o numérica.	>0
IPC	Es la variación en el precio de bienes y servicios representativos del consumo de los hogares. (Dane, 2021)	IPC_i	Cuantitativa o numérica.	>0

5. Resultados

5.1 Contexto mundial

Para comprender las dinámicas entre el precio del crudo y las tasas de cambio es pertinente enunciar tanto el contexto histórico mundial como el nacional, motivo por el cual se inicia considerando la situación a escala global. El petróleo es uno de los principales factores para el crecimiento económico de un país, pues las interacciones de sus precios pueden llegar a ser aspectos clave que determinarán el éxito de una economía, de esta forma resulta importante analizar cuál es el impacto del petróleo con respecto al PIB, tal como se observa en el siguiente gráfico de las rentas del petróleo (% del PIB):



Fuente: tomado del Banco Mundial.

La anterior gráfica muestra la renta del petróleo mundial diferenciando el valor de la producción de petróleo crudo a precios mundiales y los costos totales de producción. Se puede evidenciar que existe un dominio de los precios del petróleo que afectan en el PIB mundial puesto que los picos más bajos se presentaron cuando el precio de petróleo disminuyó, paulatinamente, hasta un 50%, pasando de los 113,46 y 140 dólares, precios en los que se mantenía en 2008, a pasar a un precio de entre 49,66 y 77 dólares, precios que se dieron entre 2009 y 2010, y que luego fueron aumentando hasta junio de 2014, donde los precios disminuyeron pasando de 105,37 dólares a 53,27 dólares, en aproximadamente 6 meses.

En cuanto a los cinco principales productores de petróleo, según datos de la Administración de Información Energética de los Estados Unidos, en primer lugar se encuentran los Estados Unidos con 19,51 millones de barriles por día; en segundo lugar Arabia Saudí con 11,81 millones de barriles por día; en tercer lugar se encuentra Rusia con 11,49 millones de barriles por día; en cuarto lugar se encuentra Canadá con 5,50 millones de barriles por día y, finalmente, en quinto lugar se encuentra China con 4,89 millones de barriles por día. En cuanto al consumo según datos de Enerdata, se encuentra que en primer lugar lo ocupa Estados Unidos con 760 toneladas métricas de petróleo; en segundo lugar China con 617 toneladas métricas de petróleo; en tercer lugar India con 224 toneladas métricas de petróleo; en cuarto lugar Japón con 151 toneladas métricas de petróleo y en quinto lugar Rusia, con 136 toneladas métricas de petróleo.

Con relación a lo dispuesto anteriormente, resulta primordial mencionar las principales bonanzas y crisis que ocurrieron entre los años 2003 y 2020. Uno de los principales booms petroleros se dio entre 2002 y 2008, debido a un sobrecalentamiento de la economía mundial por

una burbuja de especulación de los precios de las materias primas (Rojas & Forero, 2010), donde el precio del crudo se puntuó a 100 dólares por barril. Para 2009, este se redujo debido a la crisis financiera Subprime. Así mismo, en los años siguientes y hasta 2014, se dio una recuperación con un precio de 90 dólares el barril, pues a partir de este periodo se dio una fuerte caída del mercado en virtud del aumento en la oferta mundial, junto con una considerable reducción de los principales consumidores de materias primas (Melo et al. 2016). Posteriormente se generó una pequeña recuperación del mercado hasta finales del año 2019 donde se presenta una caída general, debido a la pandemia mundial Covid-19 que trajo consigo un cierre de la mayoría de la producción mundial, afectando de manera directa el sector petrolero.

Ahora bien, la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) cumple un papel primordial en el comportamiento del mercado del crudo, debido a que sus intervenciones pueden generar fuertes fluctuaciones en los precios lo que también genera alteraciones al mercado. La OPEP fue creada en 1960 bajo la Conferencia de Bagdad, con el fin de unir a los países con mayores reservas de petróleo en el mundo y así conseguir niveles constantes de colocación de petróleo y precios fuertes, que consolidaran su poderío como máximos productores de petróleo (de la Hoz, 2020).

Durante los siguientes años y hasta 2020, la OPEP se destacó principalmente por un gran control y dominio del mercado petrolero ya que administra y guía su comportamiento mediante decisiones en las circunstancias más oportunas, lo que le ha permitido obtener una supremacía adoptando niveles óptimos de exportación para cada país perteneciente a esta. No obstante, la OPEP ha generado también controversias motivando que el crudo se convierta en un arma cuyo objetivo es alcanzar logros políticos o estratégicos, ajenos a los que se pactaron al momento de

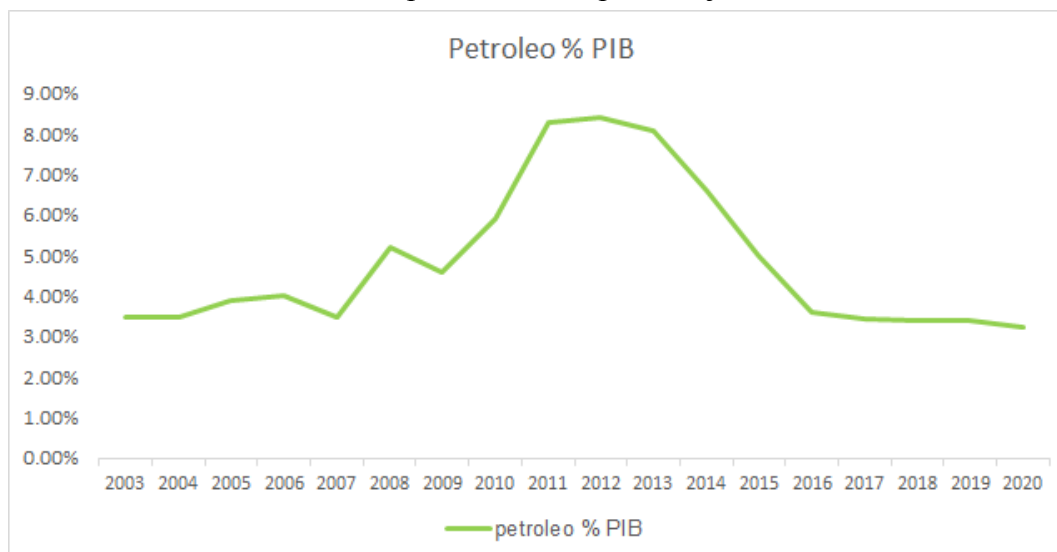
su creación. Adicionalmente, una de sus decisiones más comunes es inflar el precio del crudo en momentos de euforia, cuestión que incitó a buscar otras alternativas energéticas (Zanoni, 2010).

5.2 Contexto Nacional

El sector minero energético actualmente tiene un peso considerable dentro de la economía colombiana. Históricamente el petróleo tomó importancia a principios del siglo XX con la concesión de Barco y de Mares a compañías multinacionales que construyeron la refinería de Barrancabermeja en 1922 y los oleoductos en Barranca y Cartagena en 1926. Más adelante se crea la empresa colombiana Ecopetrol, que tomó la concesión de Mares centrando su producción netamente al consumo interno; con el paso de los años no se cumplió la demanda interna por lo cual se dieron varias reformas legales y estatales para que se generarán más concesiones mediante contratos a través del Estado con Ecopetrol y varias empresas multinacionales, fijando porcentajes de participación sobre la producción de crudo. Esta medida llevó a que se aumentará de manera significativa la producción en 1986, lo que a su vez saldó la demanda interna y dio paso a la creación de reservas y la realización de exportaciones (Perry & Oliveria, 2009, como se citó en Melo et al. 2016).

A partir de este acontecimiento, Colombia ha aumentado sus pozos de explotación, con ello su producción y exportación de este. Para denotar la importancia del petróleo, la Gráfica 2 muestra cual es la participación del petróleo dentro de la economía colombiana, donde se evidencia que a principios de los años 2000 la participación es constante pues se mantiene entre el 3% y 4%; a partir del año 2007 se evidencia un notorio aumento de la participación del mercado petrolero, ya que alcanza a llegar a un 8.4% de participación en el PIB. No obstante, a partir de 2013 baja esta participación de manera drástica y vuelve a los niveles habituales entre 3% y 4%.

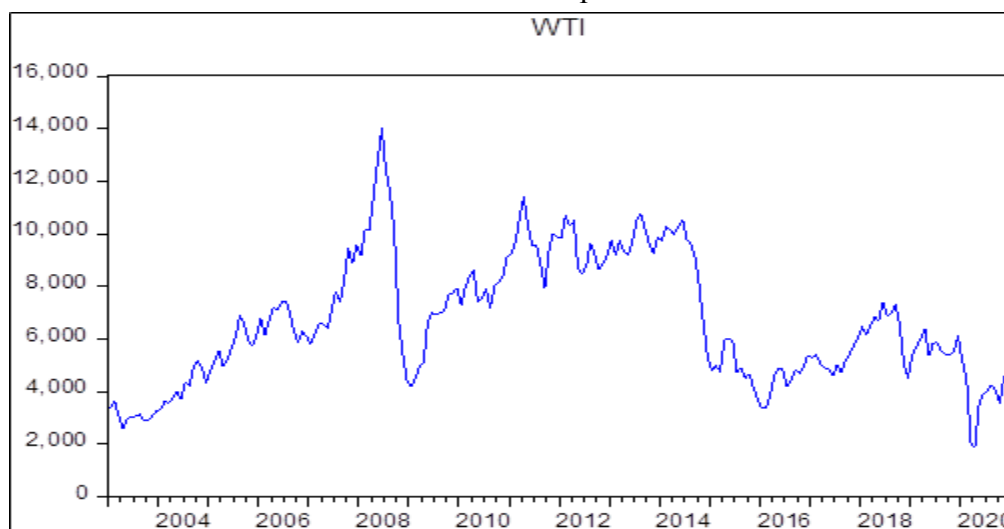
Gráfico 2: Producción de petróleo como porcentaje del PIB colombiano.



Fuente: elaboración propia a partir de datos tomados del Banco de la República.

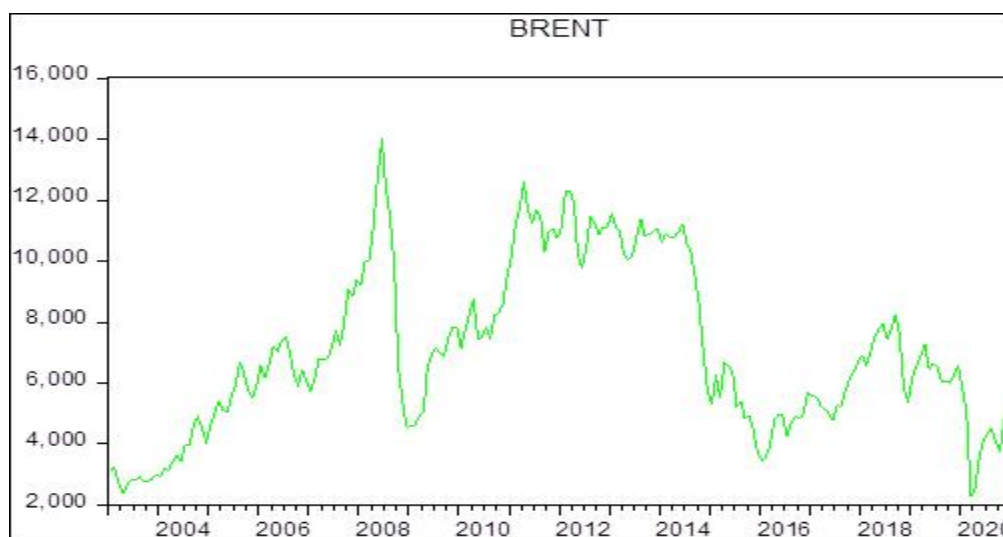
Consecuentemente, se debe tomar en cuenta que existen dos grandes referencias en términos de precios del crudo: por un lado, el precio Brent que es el precio de referencia del mercado europeo, y por el otro, la referencia WTI (West Texas Intermediate).

Gráfico 3: Histórico de precios WTI.



Fuente: elaboración propia a partir de datos tomados de Investing.

Gráfico 4: Histórico de precios Brent.



Fuente: elaboración propia a partir de datos tomados de Investing.

El comportamiento de ambos precios es producto de un ascenso considerable de la producción y exportación petróleo en 2003, debido a un boom de inversión petrolera y crecientes precios internacionales que se mantuvo hasta los años 2008 y 2009, puesto que la crisis financiera mundial Subprime frenó de manera considerable el mercado petrolero a nivel mundial. Sin embargo, el sector de los hidrocarburos tuvo un gran impacto como ancla que logró sobrellevar y superar la crisis Subprime, para en el año 2010 logra retomar un crecimiento de las exportaciones petroleras con porcentajes de dos dígitos (Rojas & Forero, 2011). Los siguientes años se dio una recuperación considerable debido a otro boom en los precios internacionales que duró hasta finales del año 2015, en virtud de una reestructuración del mercado global (Gutierrez et al., 2018). A partir de estos acontecimientos el mercado del petróleo se ha dado a la baja y no se ha recuperado. Finalmente, a finales del año 2019 se comienza a gestar una nueva crisis consecuencia de la pandemia por Covid -19 que en 2020 detuvo la economía a nivel mundial.

Gráfico 5: peso colombiano frente al dólar.



Fuente: gráfica tomada de Investing.

La anterior gráfica muestra el comportamiento que ha tenido la tasa de cambio en los últimos 30 años. Se puede observar que ha aumentado significativamente en el periodo comprendido entre 2015 y 2020, pasando el dólar de 1.800 pesos colombianos a 3.600 pesos colombianos, lo que pone de presente la diferencia de poder entre ambas monedas. Por otro lado, el aumento o disminución de las tasas de cambio en Colombia se debe principalmente al régimen de tasa de cambio fija que existe en el país, la cual es establecida por el Banco de la República pues,

“la tasa de cambio sube o baja dependiendo de la oferta y la demanda: cuando la oferta es mayor que la demanda, la tasa de cambio baja; por el contrario, cuando la oferta es menor que la demanda” (Banco de la República, 2020).

De los datos obtenidos de las gráficas 4 y 5, se puede encontrar que si suben los precios del petróleo baja la TRM en Colombia y viceversa, cómo se observa en las gráficas una abrupta reducción en los precios del crudo generan un aumento en la TRM, cronológicamente esto se

puede observar en los años 2008, 2014 y 2020 debido a los sucesos que afectaron al barril del crudo en esas épocas.

Ahora bien, se puede ver que la economía colombiana a través del tiempo ha generado una dependencia de materias primas y de la industria minera y petrolera, llegando a ser este último uno de los productos que en su categoría, en marzo de 2021, presentó un crecimiento del 43.9% en cuanto a exportaciones totales. Este incremento se dio debido al incremento de las ventas de petróleo, productos derivados del petróleo y productos conexos (DANE, 2021). Sin embargo, en cuanto a las regalías se puede observar que para el año 2020, debido al Covid-19, se genera una disminución significativa en los ingresos, que pasarían de un ingreso evaluado en el 2019 de 16,1 billones de pesos en regalías, impuestos y derechos económicos, a un ingreso calculado por alrededor de 4 billones de pesos en 2020 (ACP, 2020) dejando claro el impacto que el petróleo tiene en la economía colombiana.

Por otro lado, con base a estadísticas de la Cámara de Bienes y Servicios Petroleros para 2019, la industria petrolera crea alrededor de 120.000 empleos a nivel nacional y el 80% de estos se encuentran en empresas proveedoras de bienes y servicios (Campetrol, 2019). Sin embargo, en los últimos años se calcula que frente al personal empleado a finales de 2019, a marzo de 2020, los empleos directos se redujeron un 2%, y 48% los indirectos (ACP, 2020). Ahora bien, debido a la crisis por Covid-19, las compañías que reportaron que entre abril y diciembre de 2020, se recortaron en total el 8% de empleos directos y el 72% los indirectos, lo que es preocupante debido a que, según la normatividad laboral colombiana, el 100% de la fuerza obrera no calificada debe ser contratada a nivel local, así como el 30% de la fuerza laboral calificada (ACP, 2020), debido a esto, muchos empleos generados directamente por el petróleo en el país se han

perdido aumentando así la tasa de desempleo y empeorando la crisis económica generada por el Covid-19.

Por otro lado, en Colombia existen alrededor de cuatrocientos cincuenta campos activos, sin embargo, solo unos cuantos cargan el total de lo que se extrae en el país. Los principales ocho campos son los siguientes: Campo Rubiales con un total de producción de 105.539 b/d; Campo Castilla con un total de 67.289 b/d; Campo Chichimene con un total de 50.832 b/d; Campo Castilla Norte con un total de 46.596 b/d; Campo Quifa con un total de 42.606 b/d; Campo Tigana con un total de 35.999 b/d; Campo Jacana con un total de 29.643 b/d y, por último, Campo La Cira con un total de 28.792 b/d.

Adicionalmente, cabe destacar a las multinacionales que se encuentran en el país según la (EITI, 2021), las cuales son: Canacol Energy LTD, Cepsa Colombia S.A., Chevron Petroleum Company, Frontera Energy, antes conocida como Pacific E&P, cambió su identidad corporativa en 2016; Gran Tierra Energy LTD, Gran Tierra Energy Inc., Mansarovar Energy Colombia LTD, OXY (Occidental) y finalmente, Parex Resources Colombia LTD.

5.3 Resultados del modelo

Para llevar a cabo el modelo SVAR, primero es necesario identificar si las variables a estudiar son estacionarias, por ende, se realiza la prueba de Dickey-Fuller de raíz unitaria, encontrando que todas las variables poseen raíz unitaria tal como lo muestra el Anexo 1, por lo que se procedió a calcular las diferencias de cada variable, para eliminar las tendencias y volver las series estacionarias. Se toma el análisis por medio de la restricción de largo plazo porque esta brinda un análisis en términos reales.

Cabe resaltar que no se toma en cuenta la variable “exportaciones de petróleo” que la teoría considera tan relevante, ya que, al calcular la matriz de correlaciones, se encuentra que la variable no se correlaciona con la tasa de cambio en virtud del bajo índice de correlación con la TRM que posee, por lo que se omite en el modelo. Sumado a esto se comprueba que los precios del petróleo brent, el IPP y el IPC, son variables que se correlacionan fuertemente con la Tasa Representativa del Mercado tal como se muestra en la Tabla 2. Adicionalmente, se encontró que las variables en su forma no estacionaria están cointegradas en un nivel (ver Anexo 2), lo que indica que se debe realizar un análisis SVAR a nivel de variables.

Tabla 3: *Matriz de correlación*

	TRM	BRENT	XN_P	IPP	IPC
TRM	1.000000	-0.465208	-0.096538	0.900059	0.949115
BRENT	-0.465208	1.000000	0.107708	-0.354448	-0.395505
XN_P	-0.096538	0.107708	1.000000	-0.076912	-0.079084
IPP	0.900059	-0.354448	-0.076912	1.000000	0.955625
IPC	0.949115	-0.395505	-0.079084	0.955625	1.000000

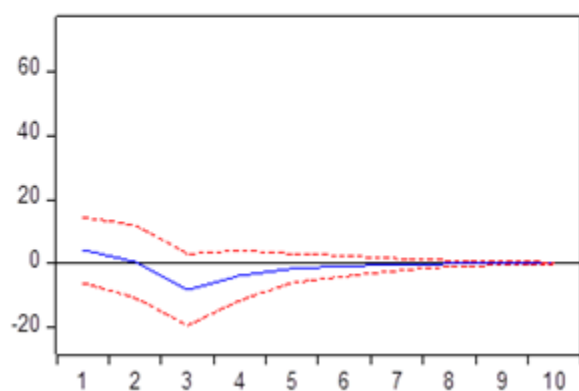
El modelo toma dos rezagos basados en el criterio de información de Akaike (ver Anexo 3), y con las cuatro variables antes mencionadas. Para el cálculo de las funciones impulso respuesta, se toma el efecto de las variables en el modelo estructural con un lapso de diez períodos, puesto que al ser este un análisis a largo plazo, el incluir más periodos no influye ya que tienden a cero.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del modelo a partir de un análisis de impulso respuesta, se mostrarán solo los paneles de los shocks de la TRM ya que es la variable de estudio. Sin embargo, se puede observar totalmente que en el Anexo 4, la variable Shock1 es

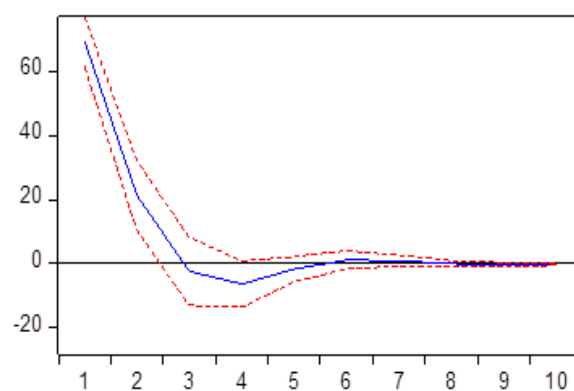
la variación de la diferencia de la TRM; la variable Shock2 es la variación de la diferencia del brent; la variable Shock3 es la variación de la diferencia del IPC y la variable Shock4 es la variación de la diferencia del IPP.

Response to Structural VAR Innovations ± 2 S.E. Response to Structural VAR Innovations ± 2 S.E.

Response of DTRM to Shock1

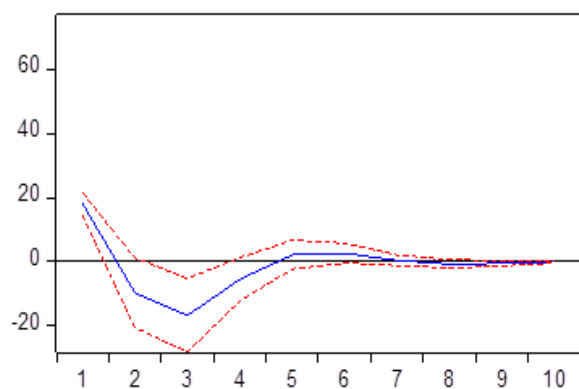


Response of DTRM to Shock2

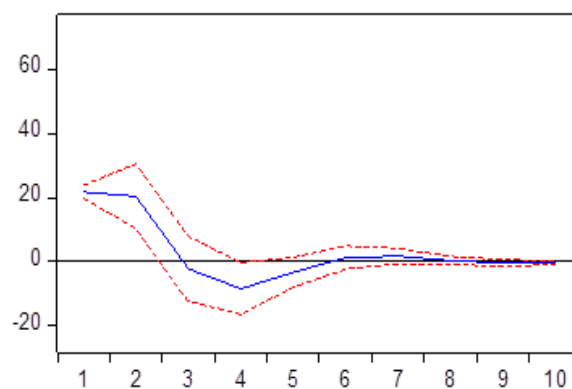


Response to Structural VAR Innovations ± 2 S.E. Response to Structural VAR Innovations ± 2 S.E.

Response of DTRM to Shock3



Response of DTRM to Shock4



En razón de los resultados estimados del SVAR, se evidencia en un primer escenario que ante un posible cambio en los precios del barril de brent puede generar una abrupta reducción de la TRM, por lo que crea un choque significativo en los tres primeros periodos mientras esta se desploma con sus valores y luego brinda una lenta estabilización de ellos a largo plazo. Hasta el quinto periodo se estandariza a cero, por ende, se establece que existe una relación inversa entre la TRM y el nivel de precios brent.

Aunque el objetivo del trabajo es buscar las incidencias en los precios del petróleo, también se puede encontrar que un cambio del IPC a corto plazo afecta de manera negativa al tipo de la tasa de cambio de referencia. No obstante, en el mediano plazo una variación del IPC puede afectar positivamente, por lo que en el largo plazo puede darse una relación positiva que ratifica el resultado de la matriz de correlación. Por otro lado, una variación en el IPP genera una caída en los primeros dos periodos. A su vez, después de la reducción se da un leve aumento que estabiliza paulatinamente los niveles de la TRM hasta que a largo plazo se estandariza a cero.

Por ende, se debe tener en cuenta que esta variable macroeconómica es fundamental para la formulación de políticas económicas, puesto que a Colombia, al ser un país que depende en gran medida de sus exportaciones del sector minero energético, un shock en este mercado no solo le afectará el nivel de ingresos del Estado, sino que también afectará los niveles del tipo de cambio, desestabilizando la economía por distintos factores, que si no son controlados de manera efectiva, pueden llevar a una fuerte crisis.

A pesar de que el IPP y el IPC tienen una relación directa, esta se presenta en el mediano y largo plazo, por lo que a corto plazo también afecta a los niveles del tipo de cambio. Dichas variables también deben tenerse en cuenta en virtud de que al enfrentar una crisis o algún shock del mercado cambiario, estas pueden ayudar a sobrellevar la situación si se mantienen controladas o de manera estable, y brindar así estabilidad a la tasa de cambio.

Tabla 4: Análisis de descomposición de varianza.

Variance Decomposition of DTRM:					
Period	S.E.	Shock1	Shock2	Shock3	Shock4
1	77.76904	93.42022	4.602071	1.716592	0.261115
2	83.14932	92.45972	4.323718	2.751203	0.465363
3	84.85655	88.89970	6.964293	3.593466	0.542544
4	86.04029	87.23582	6.992378	5.204960	0.566843
5	86.22185	86.89843	7.144964	5.361283	0.595319
6	86.33316	86.72425	7.280872	5.401057	0.593818
7	86.37138	86.66928	7.275711	5.458265	0.596742
8	86.37848	86.65532	7.288782	5.458536	0.597362
9	86.38389	86.64792	7.292169	5.462548	0.597366
10	86.38491	86.64624	7.292141	5.464099	0.597523

En la anterior tabla se puede apreciar el análisis de descomposición de varianza el cual especifica el porcentaje de una variable ante el error que un choque en otra variable pueda causar. El tiempo observado es de diez meses y los resultados muestran el producto de innovaciones en la TRM. A su vez, se encuentra que de un 4.6% a 7.29% de las variaciones del precio del barril Brent son explicados por choques en la TRM, por otro lado, de un 1.7% a 5.4% de las variaciones del IPC son explicados por choques en la TRM y, por último, de un 0.26% a 0.59% de las variaciones del IPP son explicados por choques en la TRM.

5.4 Análisis de los resultados

A partir de los resultados obtenidos se logra comprobar que los precios del petróleo afectan de manera negativa al tipo de cambio, tal como lo enuncian Rivera, Toro y Marcos

(2017) que a partir de un análisis por medio de modelos de regresión por mínimos cuadrados ordinarios GARCH y VAR relacionan las tasas de interés de referencia y los precios del petróleo, llegando a la conclusión de que los precios del petróleo y la tasa representativa del mercado están relacionados de manera negativa, por lo que se corrobora que los niveles de precios del petróleo tienen una incidencia negativa.

Estos resultados están acorde a los planteamientos de Pindyck & Rotemberg que ante una alteración de los precios de las materias primas afectará directamente a las variables macroeconómicas por medio de la producción industrial, generando de manera especulativa fluctuaciones de las tasas de cambio o las tasas de interés, ya que para el caso colombiano se logra comprobar que los precios del petróleo afectan de manera negativa en un corto y mediano plazo, ya que en el largo plazo este comportamiento se estabilizará, por lo que podría demostrar el efecto de la especulación que afecta el corto y mediano plazo.

Por lo que, al tomar un análisis SVAR tomando un análisis de efectos reales por medio de largo plazo, es decir, que los elementos no afectan de manera significativa a las variables estudiadas de forma acumulativa en el largo plazo, por ello no se logran demostrar los hallazgos de Beckman, Czudaj y Arora que llegan a la conclusión que dependiendo del país existen algunos patrones comunes de fuertes vínculos entre los tipos de cambio y los precios del petróleo a largo plazo o los planteamientos de Sadorsky que demostró la existencia de una relación de largo plazo.

Por otro lado, Krugman, en su artículo de precios del petróleo y el dólar, dispone que si el precio del petróleo aumenta, entonces así mismo aumentará el valor de la moneda de países exportadores de petróleo, por lo que los resultados no concluyen en la misma relación, esto

podría darse por el enfoque dado, ya que al tomar el dólar como moneda de estudio lo que puede condicionar el tipo de relación entre las variables estudiadas.

Sin embargo, para Sierra y Manrique, en su artículo concluyen que el tipo de cambio real tiene una repercusión considerable en el sector industrial en general. Se encontró que el efecto era negativo, es decir, que una apreciación de un 1% del tipo de cambio real produce una reducción del valor agregado industrial que fluctúa entre un 0,26% y un 0,29%, y aunque los autores evidencian que no se afectan algunos de los sectores, si se puede evidenciar al igual que lo expuesto anteriormente en el contexto nacional que si existen efectos dados por el cambio de los precios del petróleo sobre el tipo de cambio.

Ahora bien, en relación con estudios anteriores, se encuentra la misma relación que Fratzscher, Schneider y Van Robays que examinan la relación entre los precios del crudo con respecto al dólar norteamericano y los precios de los activos, concluyendo que la relación entre los precios del petróleo y las tasas de cambio tiende a ser negativa a través de un modelo VAR. Así mismo, se dejan de lado los resultados de Hernández y González (2016) y Guerrero, Caraballo & Fajardo (2018) que estudian las implicaciones de los precios del petróleo para el caso de Colombia, donde se encontró que existe una relación directa entre el tipo de cambio y el nivel de precios del petróleo.

Desde el punto de vista del modelo de Leontief, el cual consiste en organizar la distribución de un productor en las filas de una matriz de insumo producto y las columnas van a ser igual al consumo de las industrias para que estas puedan crear un bien, al igual que una columna extra conocida como demanda final, junto con otras filas y columnas que entraran al modelo de acuerdo a sus propias restricciones (Leontief, W. 1986), teóricamente se puede

comparar las incidencias de los precios del petróleo en el tipo de cambio en el modelo input output de Wassily Leontief, por ejemplo, Roitbarg (2018) encuentra en su paper de “El petróleo y su impacto total en el precio de los alimentos”. Un abordaje Insumo Producto para Estados Unidos en 2002 y 2007” que bajo el modelo de Leontief, entre un 13% y un 9% de los precios de los alimentos se dieron gracias a causas exógenas del sector petrolero, demostrando que un porcentaje de la producción de un sector, de un país en específico, puede terminar en el consumo de otro sector en este mismo.

Contrastando lo obtenido, contra los planteamientos del modelo Modell-Fleming, demuestra que ante posibles cambios en los precios del petróleo, afectará el nivel del tipo de cambio, desde la visual del modelo anteriormente mencionado, esto se da por medio de la balanza comercial como se mostró anteriormente en la Tabla 1, en años como 2003, 2004, 2009, 2011, 2016 y 2020 se presentan variaciones negativas de los saldos de las cuenta corriente y financiera de la balanza de pago junto con valores negativos de la variación promedio de la TRM; en contraparte de esto los años 2005, 2008, 2012, 2013, 2014, 2018 y 2019 se presentan variaciones positivas en los saldos de cuenta corriente y financiera de la balanza de pagos acompañados de puntuaciones positivas en la variación promedio de la TRM. Por lo que el sector petrolero juega un papel relevante en esto, debido a que representa alrededor del 49.90% del total de las exportaciones realizadas según datos del DANE, entonces si se da algún shock en el mercado internacional del crudo afectará directamente la balanza comercial colombiana, que llevará a que la tasa de cambio varíe en pro de equilibrar el mercado.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto en los resultados y análisis de los mismos, se sugiere tratar de diversificar aún más la gama de productos de exportación para así no depender

de un solo sector, ya que en los últimos años el sector minero energético como anteriormente se mencionó; entonces, si se amplía la gama de productos de exportación se estarían fortaleciendo los demás sectores, no obstante esto implicaría que ante algún shock en el mercado minero energético los indicadores macroeconómicos del país podrían verse afectados y puesto que este shock cómo se explicó en el modelo anterior de Leontief podría generar una variación directa en los precios de muchos bienes en el país afectando la inflación del país, no obstante esto solo dependería de los movimientos dados en el exterior, por lo que podría tanto beneficiar cómo perjudicar al país.

6. Conclusiones

A partir de lo encontrado se puede concluir que el sector petrolero a escala mundial tiene un papel relevante. Los cinco principales productores de petróleo mencionados anteriormente junto a países como Canadá, China, India, Japón, entre otros, generan cambios económicos mundiales gracias a la producción diaria de barriles, adicionalmente, se menciona el papel de la OPEP dentro del mercado petrolero ya que las distintas acciones que toma esta organización generan fuertes cambios en los precios llevando a alteraciones en el mercado; así como el fuerte control que ejerce sobre la política mundial, puesto que propició el crudo como un arma con el objetivo de alcanzar logros políticos o estratégicos, ajenos a los que se pactaron en el momento de su creación.

En cuanto a la escala nacional se puede describir que este sector tiene un valor considerable dentro de la economía colombiana, ya que históricamente el petróleo tomó importancia a principios del siglo XX con la concesión de Barco y de Mares. Posteriormente influyó en la creación de Ecopetrol y varias empresas multinacionales en donde el Estado otorgó concesiones fijando porcentajes de participación sobre la producción de crudo, lo que aumentó significativamente la producción a través de los años. Para los años estudiados se evidenció que se dieron dos bonanzas y se atravesaron dos crisis: la primer bonanza fue en 2003 debido a un boom de inversión petrolera y crecientes precios internacionales que se mantuvo hasta los años 2009, posteriormente se presenta la crisis Subprime; seguido a esto se da una pronta recuperación debido a una bonanza por especulación y, finalmente, se genera la crisis por Covid-19.

Por otro lado, se establecen las distintas relaciones de las variables estudiadas a partir del cálculo de un modelo de VAR estructural, encontrando que existe una relación negativa entre la tasa de cambio y el nivel de precios del petróleo Brent. También se encuentra que el IPP tiene una relación positiva con la TRM al igual que el IPC, pero esta relación positiva se da sólo en el mediano y largo plazo, puesto que a través del análisis impulso respuesta se observa que en el corto plazo estas dos variables tienen algunos rezagos que afectan de manera negativa el tipo de cambio.

Asimismo, se logra identificar una gran relación entre el tipo de cambio y los precios del petróleo, ya que en el análisis de impulso respuesta la variable de la TRM se vio más afectada en los choques generados por un cambio en los precios del petróleo, además, se encontraron resultados que en la descomposición de la varianza, donde, un 4.6% a 7.29% de las variaciones del precio del barril Brent son explicados por choques en la TRM, teniendo una relación directamente proporcional ante las variaciones en estas, esto es coherente por lo presentado en el país para el periodo 2012-2016 donde un cambio en los precios del petróleo, en este caso un impacto negativo que se dio en 2014, generó que la TRM de Colombia (peso por dólar estadounidense) aumentará a finales de 2014 y principios de 2015.

Ahora bien, se puede analizar el impacto de precios del petróleo sobre el tipo de cambio en Colombia siendo este muy importante debido a que cómo se mostró en los resultados de impulso respuesta la variable TRM se vio impactada ante los choques generados por los precios del petróleo, sin embargo, cabe aclarar que según el acervo literario realizado y bajo una consideración empírica, un incremento en el nivel de precios brent genera un incremento en el peso colombiano; este cambio es directo y a medida que pasa el tiempo la TRM se estabiliza, tal y cómo se muestra en la gráfica de impulso respuesta, por lo que, se logran comprobar los planteamientos de Pindyck & Rotemberg y de Rivera, Toro y Marcos que llegan a conclusiones similares entorno a las dinámicas de los precios del petróleo con respecto al tipo de cambio.

Esto asociado a lo establecido de forma teórica, donde se identifica que los precios del petróleo inciden en la tasa de cambio, como por ejemplo en momentos donde el país se dieron bonanzas y shocks, muchos sectores de la economía se vieron afectados tanto positiva como negativa, además de cambios en la producción y en el empleo en el país, permitiendo ver el contraste de los resultados de Sierra & Manrique donde evidencian que “aunque el tipo de cambio real no tuviera ningún efecto significativo en la mayoría de los sectores entre 2000 y 2010. Los sectores más afectados fueron aquellos que tenían una mayor cuota del valor agregado industrial total. En general, el 53% del valor agregado total de las manufacturas, el 39% de todos los empleados de actividades manufactureras y el 36% de las empresas manufactureras corresponden a los sectores afectados a raíz de la apreciación real del peso colombiano”.

Lo anterior, genera efectos indirectos en la economía, ya que incide en el precio de las importaciones, si se presenta una devaluación, se encarecen algunos productos como los bienes de capital y materias primas necesarias en diversos sectores, lo cual impacta sus costos y se espera que a su vez en los precios finales, es decir genera inflación, así mismo se reciben más pesos por las exportaciones aumentando el dinero en circulación. En caso de una revaluación se corre el riesgo de generar el efecto de la llamada enfermedad holandesa, destruyendo empresas y afectando sectores donde las importaciones son más baratas que el producto nacional. Por su parte, las exportaciones se desincentivan ante este panorama, al recibir menos pesos.

Sumado a esto, se logra ver a partir de los resultados obtenidos concuerda con el planteamiento del modelo Mundell-Fleming desde la perspectiva de los movimientos en la balanza de cambio ya que los resultados muestran que existe una afectación en el corto y mediano plazo, que si se aterriza a la teoría, se expresa por medio de la balanza de pagos, donde sus movimientos afectan el tipo de cambio, que es el que se ajusta para equilibrar el mercado y así el modelo.

Estos hallazgos ayudan de manera significativa para plantear cómo se podría llevar la política económica en pro de tener una economía sólida, por lo que se propone hacer una diversificación de los ingresos del estado, fortaleciendo otros sectores exportadores con potencial según el valor total exportado por capítulos del arancel desde enero 2010 a julio de 2021, aunque se encuentran lejos de lo exportado en Combustibles y aceites minerales y sus productos. Algunos de estos sectores son: Plantas vivas y productos de la floricultura, Café, té, yerba mate y especias y Azúcares y artículos confitería entre otros. Es importante no dejar de lado el fortalecimiento de energías alternativas por parte de la Empresa Colombiana de Petróleo, Ecopetrol.

Lo anterior permite alejarse de la dependencia del sector minero energético por parte del Estado y de la economía nacional, lo cual le permitirá mitigar la alta volatilidad que se genera en los indicadores macroeconómicos cuando fluctúa el precio de los hidrocarburos, en especial el del petróleo. Sumado a esto, se aconseja como medida para mitigar los impactos del precio del crudo en el tipo de cambio dar un fortalecimiento a la economía interna por medio de la industrialización en los principales sectores de producción, que llevará a Colombia a ser un país más competitivo a nivel local e internacional y así consolidar una moneda más fuerte, que no se vea tan afectada por shocks en mercados internacionales.

7. Referencias

- Ahmad, W., Prakash, R., Uddin, G. S., Chahal, R. J. K., Rahman, M. L., & Dutta, A. (2020). On the intraday dynamics of oil price and exchange rate: What can we learn from China and India? *Energy Economics*, 91, 104871. doi:10.1016/j.eneco.2020.104871
- Ahmed Nawaz Hakro, & Abdallah Mohammed Omezzine. (2016). Oil prices and macroeconomic dynamics of the oman economy. *The Journal of Developing Areas*, 50(1), 1-27. doi:10.1353/jda.2016.0021
- Basher, S. A., Haug, A. A., & Sadorsky, P. (2012). Oil prices, exchange rates and emerging stock markets. *Energy Economics*, 34(1), 227-240. doi:10.1016/j.eneco.2011.10.005
- Beckmann, J., Czudaj, R. L., & Arora, V. (2020). The relationship between oil prices and exchange rates: Revisiting theory and evidence. *Energy Economics*, 88(C), 104772. doi:10.1016/j.eneco.2020.104772
- BP. Statistical Review of World Energy. (2020). 69th edition.
<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- Buenavides, D. Garcia, M. & Reyes, L. (2019). Incertidumbre del precio internacional del petróleo y rendimientos accionarios en México a través de un SVAR-MGARCH. *Contaduría y Administración*, 64 (3), 1-19. doi:10.22201/fca.24488410e.2019.2340
- Cano, C. (2013). La enfermedad holandesa en Colombia: síntomas, causas y tratamiento. Banrep.
<https://www.banrep.gov.co/es/node/32106>

- Chen, S., & Chen, H. (2007). Oil prices and real exchange rates. *Energy Economics*, 29(3), 390-404. doi:10.1016/j.eneco.2006.08.003
- Contraloría General de la Nación. (2016). El impacto de la crisis petrolera en los ingresos del Gobierno Nacional Central – GNC. Boletín Macro Fiscal, Año 2, No. 16.
<https://www.contraloria.gov.co/documents/20194/520989/Bolet%2525C3%2525ADn+Macro+Fiscal+16.pdf/0310f5b9-e027-40b3-8502-fa46973fd4b5>
- Corden, M. & Neary, J. (1982). Booming Sector and De-Industrialisation in a Small Open Economy. Oxford University Press. pp. 825-848 (24 pages). <https://doi.org/10.2307/2232670>
- DANE. (2021). Exportaciones totales, según grupos de productos OMC a partir de la agregación CUCI Rev.3 (sección y capítulos constitutivos) 2006p- 2021p (Enero). Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- Ernesto, G., y Ramírez, A. *Los precios del petróleo como fuente de inestabilidad del tipo de cambio real 1998 - 2017*.
- Escobar, G. (2012). *El modelo Mundell- Fleming: Notas de Clases*. Universidad Andrés Bello
- Fratzscher, M., Schneider, D., & Robays, I. V. (2013). *Oil prices, exchange rates and asset prices*. (No. 4264). Munich: Center for Economic Studies and Ifo Institute (CESifo).
<https://www.econstor.eu/handle/10419/77703>
- González, S., y Hernández, E. (2016). Impactos indirectos de los precios del petróleo en el crecimiento económico colombiano. *Lecturas De Economía*, (84), 113-141.
 doi:10.17533/udea.le.n84a04

- Gutiérrez Mejía, D., Nauzan Ceballos, V., Duarte Ballén, B. y Galeano Cortés, J. 2018. La caída de los precios del petróleo y los salarios de eficiencia en Barrancabermeja – Colombia. *Apuntes Contables*. 21, 43-56. DOI:<https://doi.org/10.18601/16577175.n21.04>.
- Jeftanovic, P. (2010). EL SÍNDROME HOLANDES Teoría, evidencia y aplicación al caso chileno (1901-1940). Centro de Estudios Públicos. 300-331.
https://www.cepchile.cl/cep/site/docs/20160303/20160303184228/rev45_jeftanovic.pdf
- Jiang, Y., Feng, Q., Mo, B., & Nie, H. (2020). Visiting the effects of oil price shocks on exchange rates: Quantile-on-quantile and causality-in-quantiles approaches. *North American Journal of Economics and Finance*, doi.org/10.1016/j.najef.2020.101161
- Karlsson, H. K., Mansson, K., & Sjolander, P. (2020). Unveiling the time-dependent dynamics between oil prices and exchange rates: A wavelet-based panel analysis. *The Energy Journal (Cambridge, Mass.)*, 41(6), 87. doi:10.5547/01956574.41.6.hkar
- Khraief, N., Shahbaz, M., Mahalik, M. K., & Bhattacharya, M. (2021). Movements of oil prices and exchange rates in China and India: New evidence from wavelet-based, non-linear, autoregressive distributed lag estimations. *Physica A*, 563 doi:10.1016/j.physa.2020.125423
- Krugman, P. (1983). Oil and the dollar. Cambridge: National bureau of economic research.
- Leontief, Wassily W. (1986), *Input-Output Economics*. 2nd ed., New York: Oxford University Press.
- Lizeth, L., Bueno, G., Caraballo, L. J., Fajardo Ortiz, E. J., Bueno, G., Caraballo, L. L., .Bucaramanga, S. *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*.

- Meisel, A. (2010). Enfermedad holandesa y exportación de banano en el caribecolombiano, 1910-1950. Cuadernos de historia económica y empresarial. Banrep.
https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/chee_26.pdf
- Mohammad R. Jahan-Parvar, & Hassan Mohammadi. (2011). Oil prices and real exchange rates in oil-exporting countries: A bounds testing approach. *The Journal of Developing Areas*, 45(1), 313-322. <https://www.jstor.org/stable/23215276>
- Montenegro, A. (2010). Análisis de series de tiempo. Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. Colombia.
- Novales, Alfonso (2011). *Modelos vectoriales autorregresivos (VAR)*. En: Universidad Complutense, pp. 2. [En línea] Disponible en:
<https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41459/VAR.pdf>
- Perilla Jiménez, J. R. (2010). El Impacto de los Precios del Petróleo Sobre el Crecimiento Económico en Colombia. Banco de la República.
https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/eventos/archivos/Seminario35_0.pdf
- Pindyck, R., & Rotemberg, J. (1990). The Excess Co-Movement of Commodity Prices. *The Economic Journal*, 100(403), 1173-1189. doi:10.2307/2233966
- Rivera, M. Toro, C. Stephany, R. & César. (2017). *El comportamiento del precio del petróleo y la volatilidad en la tasa de cambio: Análisis de impacto de las variaciones del wti y de la tasa de interés referencia sobre la tasa de cambio nominal en Colombia, periodo 2013-2015 artículos de investigación*.
- Roitbarg, H. (2018). *El petróleo y su impacto total en el precio de los alimentos. Un abordaje Insumo Producto para Estados Unidos en 2002 y 2007*. Ciencias Económicas. 89-104.

- Sadorsky, P. (2000). The empirical relationship between energy futures prices and exchange rates. *Energy Economics*, 22(2), 253-266.
doi:[https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/S0140-9883\(99\)00027-4](https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/S0140-9883(99)00027-4)
- Sierra, L. & Manrique, K. (2014). *Impacto del tipo de cambio real en los sectores industriales de Colombia: una primera aproximación*. Revista Cepal.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37440/RVE114SierraManrique_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- M. Thenmozhi, & N. Srinivasan. (2016). Co-movement of oil price, exchange rate and stock index of major oil importing countries. *The Journal of Developing Areas*, 50(5), 85-102.
doi:10.1353/jda.2016.0036
- U.S. Energy Information Administration. (2021) *Short-Term Energy Outlook*.
https://www.eia.gov/outlooks/steo/pdf/steo_text.pdf
- Wang, J., Niu, X., Liu, Z., & Zhang, L. (2020). Analysis of the influence of international benchmark oil price on China's real exchange rate forecasting. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 94, 103783. doi:10.1016/j.engappai.2020.103783

8. Anexos

Anexo 1.

Pruebas de Dickey-Fuller

TRM

Null Hypothesis: TRM has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.273797	0.1815
Test critical values: 1% level	-3.460884	
5% level	-2.874868	
10% level	-2.573951	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(TRM)

Method: Least Squares

Date: 07/12/21 Time: 20:43

Sample (adjusted): 2003M03 2020M12

Included observations: 214 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
TRM(-1)	-0.021629	0.009512	-2.273797	0.0240
D(TRM(-1))	0.296725	0.064042	4.633250	0.0000
C	50.43238	24.05981	2.096125	0.0373
R-squared	0.109331	Mean dependent var	-3.587243	
Adjusted R-squared	0.100889	S.D. dependent var	83.13629	
S.E. of regression	78.83107	Akaike info criterion	11.58641	
Sum squared resid	1311225.	Schwarz criterion	11.63360	
Log likelihood	-1236.746	Hannan-Quinn criter.	11.60548	
F-statistic	12.95027	Durbin-Watson stat	1.899740	
Prob(F-statistic)	0.000005			

Se observa que la probabilidad es mayor al 5% por lo que confirma la hipótesis nula de que la variable TRM posee raíz unitaria, es decir, no es estacional.

Brent

Null Hypothesis: BRENT has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.579802	0.0987
Test critical values: 1% level	-3.460884	
5% level	-2.874868	
10% level	-2.573951	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(BRENT)

Method: Least Squares

Date: 07/12/21 Time: 20:40

Sample (adjusted): 2003M03 2020M12

Included observations: 214 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
BRENT(-1)	-0.040370	0.015648	-2.579802	0.0106
D(BRENT(-1))	0.314991	0.065148	4.834979	0.0000
C	292.4249	118.6365	2.464880	0.0145
R-squared	0.116006	Mean dependent var		8.883178
Adjusted R-squared	0.107627	S.D. dependent var		656.7691
S.E. of regression	620.4203	Akaike info criterion		15.71259
Sum squared resid	81218407	Schwarz criterion		15.75978
Log likelihood	-1678.247	Hannan-Quinn criter.		15.73166
F-statistic	13.84466	Durbin-Watson stat		1.993186
Prob(F-statistic)	0.000002			

Se observa que la probabilidad es mayor al 5% por lo que confirma la hipótesis nula de que la variable Brent posee raíz unitaria, es decir, no es estacional.

IPC

Null Hypothesis: IPC has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.328209	0.6165
Test critical values: 1% level	-3.460884	
5% level	-2.874868	
10% level	-2.573951	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(IPC)
 Method: Least Squares
 Date: 07/12/21 Time: 20:44
 Sample (adjusted): 2003M03 2020M12
 Included observations: 214 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
IPC(-1)	-0.016643	0.012531	-1.328209	0.1855
D(IPC(-1))	0.255028	0.066788	3.818447	0.0002
C	2.062711	1.529696	1.348445	0.1790
R-squared	0.066907	Mean dependent var		0.084626
Adjusted R-squared	0.058063	S.D. dependent var		3.409093
S.E. of regression	3.308642	Akaike info criterion		5.244872
Sum squared resid	2309.841	Schwarz criterion		5.292059
Log likelihood	-558.2013	Hannan-Quinn criter.		5.263940
F-statistic	7.564872	Durbin-Watson stat		1.951023
Prob(F-statistic)	0.000672			

Se observa que la probabilidad es mayor al 5% por lo que confirma la hipótesis nula de que la variable IPC posee raíz unitaria, es decir, no es estacional.

IPP

Null Hypothesis: IPP has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.278079	0.1801
Test critical values: 1% level	-3.460884	
5% level	-2.874868	
10% level	-2.573951	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(IPP)
 Method: Least Squares
 Date: 07/12/21 Time: 20:46
 Sample (adjusted): 2003M03 2020M12
 Included observations: 214 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
IPP(-1)	-0.036036	0.015818	-2.278079	0.0237
D(IPP(-1))	0.200297	0.067187	2.981193	0.0032
C	4.167445	1.847698	2.255480	0.0251
R-squared	0.055987	Mean dependent var	-0.016869	
Adjusted R-squared	0.047039	S.D. dependent var	2.746434	
S.E. of regression	2.681061	Akaike info criterion	4.824222	
Sum squared resid	1516.686	Schwarz criterion	4.871408	
Log likelihood	-513.1917	Hannan-Quinn criter.	4.843289	
F-statistic	6.256949	Durbin-Watson stat	1.963061	
Prob(F-statistic)	0.002292			

Se observa que la probabilidad es mayor al 5% por lo que confirma la hipótesis nula de que la variable IPP posee raíz unitaria, es decir, no es estacional.

Anexo 2.**Prueba de cointegración**

Esta prueba muestra que existe una cointegración entre variables con un intervalo de confianza del 5%

Sample (adjusted): 2003M04 2020M12
 Included observations: 213 after adjustments
 Trend assumption: Linear deterministic trend
 Series: BRENT PIC IPP TRM
 Lags interval (in first differences): 1 to 2

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.162034	58.43312	47.85613	0.0137
At most 1	0.041802	15.77934	29.79707	0.7277
At most 2	0.030891	6.684153	15.49471	0.6146
At most 3	2.57E-06	0.000547	3.841466	0.9832

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michels (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.162034	37.65379	27.58434	0.0018
At most 1	0.041802	9.095182	21.13162	0.8247
At most 2	0.030891	6.683606	14.26460	0.5272
At most 3	2.57E-06	0.000547	3.841466	0.9832

Maximum eigenvalue test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michels (1999) p-values

Unrestricted Cointegrating Coefficients (normalized by b"S11*b=1):

BRENT	PIC	IPP	TRM
-0.000398	0.177251	-0.569908	0.005111
0.000258	0.095795	-0.137920	-0.000164
0.000275	0.018148	-0.103636	0.003301
4.68E-05	-0.103330	0.084942	0.000138

Unrestricted Adjustment Coefficients (alpha):

D(BRENT)	14.5901	-95.62817	-50.88523	0.042073
D(PIC)	0.894928	0.379420	-0.125716	-0.001396
D(IPP)	0.851962	0.287790	-0.081934	-2.90E-05
D(TRM)	16.25392	9.839820	-6.328925	-0.016607

1 Cointegrating Equation(s): Log likelihood -3443.231

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

BRENT	PIC	IPP	TRM
1.000000	-451.2064	1450.742	-13.01045
	(86.0888)	(211.902)	(2.32508)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(BRENT)	-0.045015			
	(0.01680)			
D(PIC)	-0.000362			
	(8.2E-09)			
D(IPP)	-0.000385			
	(6.6E-09)			
D(TRM)	-0.006385			
	(0.00197)			

2 Cointegrating Equation(s): Log likelihood -3438.684

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

BRENT	PIC	IPP	TRM
1.000000	0.000000	361.6920	-6.221842
		(161.119)	(3.27321)
0.000000	1.000000	-2.413641	0.015045
		(0.36230)	(0.00736)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(BRENT)	-0.069682	11.15051		
	(0.01985)	(8.50871)		
D(PIC)	-0.000254	0.194974		
	(9.7E-09)	(0.04174)		
D(IPP)	-0.000260	0.178580		
	(7.9E-09)	(0.03372)		
D(TRM)	-0.003847	3.823639		
	(0.00233)	(0.99891)		

3 Cointegrating Equation(s): Log likelihood -3435.342

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

BRENT	PIC	IPP	TRM
1.000000	0.000000	0.000000	4.535797
			(1.64700)
0.000000	1.000000	0.000000	-0.066742
			(0.01393)
0.000000	0.000000	1.000000	-0.029743
			(0.00512)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(BRENT)	-0.083683	10.22705	46.84319	
	(0.02292)	(8.51255)	(25.0561)	
D(PIC)	-0.000288	0.192692	-0.549327	
	(0.00011)	(0.04187)	(0.12325)	
D(IPP)	-0.000269	0.178001	-0.521922	
	(9.1E-09)	(0.03385)	(0.09964)	
D(TRM)	-0.005988	3.708783	-9.964441	
	(0.00233)	(0.99891)	(2.50552)	

Anexo 3

Criterios de información

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: DBRENT DIPC DIPP DTRM

Exogenous variables: C

Sample: 2003M01 2020M12

Included observations: 207

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-3421.525	NA	2.78e+09	33.09686	33.16126*	33.12290
1	-3380.900	79.28739	2.19e+09	32.85894	33.18094	32.98915*
2	-3360.464	39.09493	2.10e+09*	32.81608*	33.39568	33.05046
3	-3344.594	29.74586*	2.10e+09	32.81734	33.65454	33.15589
4	-3338.916	10.42399	2.33e+09	32.91706	34.01187	33.35979
5	-3327.710	20.13902	2.44e+09	32.96338	34.31579	33.51028
6	-3318.982	15.34654	2.62e+09	33.03365	34.64365	33.68472
7	-3307.970	18.93858	2.76e+09	33.08184	34.94945	33.83708
8	-3292.969	25.21870	2.79e+09	33.09149	35.21670	33.95091

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Muestra los rezagos en los cuales se debería basar el modelo. Estos se miden por varios criterios. Se toma en cuenta a partir del criterio de Akaike ya que es uno de los más precisos, no obstante, se observa que este coincide con los errores finales de predicción

Anexo 4

Gráficas completas del impulso respuesta del modelo SVAR.

Structural VAR Estimates

Date: 07/12/21 Time: 17:35

Sample (adjusted): 2003M04 2020M12

Included observations: 213 after adjustments

Estimation method: Least squares via Gauss-Newton (analytic derivatives)

Convergence achieved after 39 iterations

Structural VAR is just-identified

Model: $e = \Phi u$ where $E[uu'] = I$

F =

C(1)	0	0		
C(2)	C(4)	0		
C(3)	C(5)	C(6)		
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C(1)	857.6673	41.55412	20.63976	0.0000
C(2)	-0.406140	0.255791	-1.587776	0.1123
C(3)	-5.894540	5.952294	-0.990297	0.3220
C(4)	3.722090	0.180336	20.63976	0.0000
C(5)	80.50629	4.487096	17.94173	0.0000
C(6)	32.37152	1.568405	20.63976	0.0000
Objective value	-3218.839			

Estimated S matrix:

626.5554	-58.82141	58.96026
0.238437	3.212406	-0.270587
3.413052	73.74125	19.16903

Estimated F matrix:

857.6673	0.000000	0.000000
-0.406140	3.722090	0.000000
-5.894540	80.50629	32.37152

Response to Structural VAR Innovations ± 2 S.E.