

---

**PROPUESTA DE UN MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ANÁLISIS Y  
PRONÓSTICO DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE LAS EXPORTACIONES DE  
PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS PARA COLOMBIA PARA EL PERÍODO 2001  
- 2018.**

---

Presentado por  
**Luis Felipe Jaimes Monroy**

**Fundación Universitaria Los Libertadores**  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas  
Especialización en Estadística Aplicada Bogotá  
D.C, Colombia  
2018

---

**PROPUESTA DE UN MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ANÁLISIS Y  
PRONÓSTICO DE LA TASA DE CRECIMIENTO DE LAS EXPORTACIONES DE  
PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS PARA COLOMBIA PARA EL PERÍODO 2001  
- 2018.**

---

Presentado por  
**Luis Felipe Jaimes Monroy**

en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar al título

de

**Especialista en Estadística Aplicada**

**Fundación Universitaria Los Libertadores**  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas  
Especialización en Estadística Aplicada Bogotá  
D.C, Colombia

2018

Notas de aceptación



---

---

---

---

---

# LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C, Noviembre de 2018.



# LOS LIBERTADORES

## FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

# Tabla de contenido

Índice de Ilustraciones .....	6
Índice de Tablas .....	7
Resumen .....	8
Capítulo 1 .....	9
Introducción.....	9
Capítulo 2 .....	11
Planteamiento del Problema .....	11
Objetivos .....	13
Objetivo general: .....	13
Objetivos específicos: .....	14
Capítulo 3 .....	18
Marco de referencia.....	18
Capítulo 4 .....	21
Marco de metodológico.....	21
Capítulo 5 .....	27
Análisis y resultados.....	27
Capítulo 6 .....	39
Conclusiones y recomendaciones.....	39
7. Bibliografía .....	41
Apéndice .....	43

# Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Comparativo exportación de toneladas métricas de carbón vs. toneladas métricas de petróleo.....	18
Ilustración 2. Exportación de petróleo en Colombia .....	28
Ilustración 3. Tasa de crecimiento de la exportación de petróleo en Colombia .....	29
Ilustración 4. Análisis gráfico de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de la tasa de crecimiento de las exportaciones de petróleo. ....	32
Ilustración 5. Pronóstico de la exportación de petróleo y sus derivados para Colombia a diciembre de 2019. ....	37

# Índice de Tablas

Tabla 1. Partición In-Sample- Out-Sample .....	30
Tabla 2. Test de Dickey-Fuller Aumentado de la tasa de crecimiento de las exportaciones de petróleo..	31
Tabla 3. Resumen de los modelos estimados .....	33
Tabla 4. Resumen de los modelos estimados .....	34
Tabla 5. Resumen de los modelos estimados .....	34
Tabla 6. Resumen de los modelos estimados .....	35

# Resumen

Este trabajo propone un modelo de pronóstico que permita analizar el comportamiento de la tasa de crecimiento de las exportaciones de petróleo y sus derivados en Colombia, el objetivo del trabajo se recurrirá a la metodología de Box – Jenkins para estimar modelos ARIMA, SARIMA y SARIMAX, el desarrollo del trabajo evidenciará que de las variables escogidas para ser incorporadas en el modelo sólo serán estadísticamente significativas la exportación de carbón la tasa representativa del mercado y el nivel de producción de petróleo interno.

Palabras claves: Exportación, petróleo, tasa representativa del mercado, precio WTI.



# Capítulo 1

## Introducción

El petróleo es un hidrocarburo muy importante para el desarrollo de la economía colombiana, cuyo desarrollo de exploración se comenzó a expandir con los descubrimientos de los yacimientos de Caño Limón<sup>1</sup> y Campo Cusiana<sup>2</sup>, desde los años ochenta se ha convertido en eje fundamental para el crecimiento y desarrollo del país. Posteriormente a este ciclo de bonanzas, el panorama de la última década es diferente al vivido en los años ochenta y noventa, puesto que los descubrimientos de yacimientos productivos dejaron de ser frecuentes y empezaron a disminuir tanto las reservas así como los descubrimientos de nuevos pozos, En Colombia no se ha vuelto a descubrir un yacimiento lo suficientemente grande como para aumentar considerablemente sus reservas, al punto que proporcione los recursos considerables para el funcionamiento de estado. Por ejemplo, antes de las crisis del petróleo del año 2014, según el Ministerio de Hacienda y Crédito Público: *“El impuesto de renta pagado por el sector y los dividendos de Ecopetrol representaron 3,3% del PIB en 2013. Para 2016, el ingreso petrolero se había reducido a 0,1% del PIB”*<sup>3</sup>. Lo anterior capta las condiciones actuales del sector. Ante la incertidumbre que rodea al sector del petróleo en Colombia, resulta de vital importancia conocer no sólo su historia, sino también cómo podrá ser su comportamiento en un futuro de corto y mediano plazo, buscando tener la mayor maniobrabilidad posible ante los tantos choques del sector que afectan la producción y la exportación del crudo.

1. Exportaciones de Crudo, Ecopetrol, 18 de septiembre de 2014.

A partir de análisis estadísticos será posible realizar modelos de pronóstico que incluyan otras posibles variables significativas a la hora de pronosticar y explicar el comportamiento de la tasa de crecimiento de las exportaciones de petróleo colombiano, ya que si bien es importante el volumen a exportar en un futuro, en términos económicos se pretende determinar cuánto crecerá o caerá el sector. Así también. Proponer un modelo de pronóstico de las exportaciones de petróleo y sus derivados que podría llegar a convertirse en una herramienta de referencia para la evaluación y generación de presupuestos financieros de tesorerías para cualquier empresa del sector.

2. El hallazgo de Cusiana, Revista Dinero, 21 de agosto de 2013. .
3. Marco Fiscal de Mediano Plazo 2018, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Junio 2018.

# Capítulo 2

## Planteamiento del Problema

Durante los últimos años, el petróleo ha sido el protagonista de diferentes controversias en Colombia, el llamado “oro negro” ha sido el tema principal de diferentes investigaciones en múltiples ámbitos académicos, sus características son tan fascinantes y tan exclusivas, que este “commodity” se ha convertido en uno de los principales motores de crecimiento económico en el mundo, en Colombia, por ejemplo: “la renta petrolera representó, entre 2007 y 2017, en promedio, 12% de los ingresos corrientes de la Nación y 29% del presupuesto total de inversión del Presupuesto General de la Nación”.<sup>4</sup>

Si bien es cierto, como cualquier hidrocarburo, su hallazgo, explotación y producción no resulta sencilla, por el contrario, requiere de una gran cantidad de recursos, tanto humanos, financieros y más aún, una gran inversión de tiempo, aun así, todo el esfuerzo valdrá la pena ante el hallazgo de un “pozo” productivo, es decir, un yacimiento con gran cantidad de petróleo.<sup>5</sup>

No todos los países del mundo poseen petróleo y aún más escasos son aquellos que no sólo lo poseen, sino que la cantidad que poseen es suficiente para cubrir su demanda interna a tal punto que todo el excedente producido lo destinan a la venta, o dicho de otra manera, a la exportación.

4. Marco Fiscal de Mediano Plazo 2018, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Junio 2018.

5. Proceso de exploración y producción, PEMEX, 31 de mayo de 2013.

Colombia ha tenido la figura tanto de importador como de exportador de petróleo. Según Perry (1988), entre 1970 y 1975 el país fue exportador de petróleo, sin embargo, en 1976 volvió a ser un país importador y así se mantendría hasta 1986 cuando recuperó el rol de país exportador. Sin duda alguna, gracias al descubrimiento del yacimiento de Caño Limón, en el municipio de Arauquita en junio de 1983.<sup>6</sup>

De acuerdo con Melo, Ramos, Parrado y Zarate (2016) en Colombia, las variables macroeconómicas que reflejan con mayor claridad los choques petroleros son el déficit fiscal y la deuda pública, la tasa de cambio real, la balanza de pagos, la inversión y el consumo privado. Lo anterior se debe al gran volumen de exportación de petróleo colombiano en los últimos años, así mismo es inevitable notar la importancia que tiene el petróleo en la economía colombiana.

Con base en lo anterior, se hace evidente la necesidad de conocer cómo se comportará el petróleo colombiano dentro de los próximos años, para acotar ésta pregunta de investigación, en este trabajo de grado se introducirán algunas variables en la construcción de un modelo que pronostique la tasa de crecimiento de las exportaciones de petróleo en Colombia para el resto del año 2018 y todo el año 2019 y así determinar cuáles de estas variables resultarán ser estadísticamente significativas en el modelo.

6. La Marca de Caño Limón, Ecopetrol, Agosto 2003.

# Objetivos

## Objetivo general:

Construir un modelo de pronóstico para la tasa de crecimiento mensual de la exportación de petróleo y sus derivados en Colombia. Pronosticar y analizar el comportamiento de la variable para los meses de octubre de 2018 a diciembre de 2019.

# Objetivos específicos:

Identificar qué conjunto de las variables introducidas en el modelo explican el comportamiento de la tasa de crecimiento de la exportación de petróleo y sus derivados en Colombia.

Comparar diferentes propuestas de modelos para pronóstico construidos a partir de diferentes características de las series de tiempo como análisis univariado, análisis de intervención y análisis multivariado y escoger el mejor modelo con base en el criterio de información bayesiano (BIC).

Pronosticar la tasa de crecimiento del volumen de exportaciones de petróleo y sus derivados para los próximos 15 meses (de octubre de 2018 a diciembre de 2019) utilizando una partición de muestra In-Sample y Out-Sample.

## **Justificación:**

Este trabajo de grado se fundamenta en la importancia de conocer qué factores entre los escogidos en la incorporación de la construcción de un modelo estadístico determinan el comportamiento de la tasa de crecimiento de petróleo y sus derivados exportados en Colombia, para ello se busca construir un modelo que establezca que cual o cuales de las variables introducidas resultan ser estadísticamente significativas y contribuyen a generar un pronóstico más acertado de la tasa de crecimiento de las exportaciones, dentro de las posibles variables que pueden explicar el comportamiento de las exportaciones se incluyen cinco variables de la clase industrial de refinación de petróleo, éstas se incluyen debido a que en Colombia la refinación del petróleo es realizada por Ecopetrol, quien asegura que en la refinerías de Barrancabermeja y Cartagena: “*se producen cerca de 380 KBD (miles de barriles por día calendario) de productos, asegurando de*

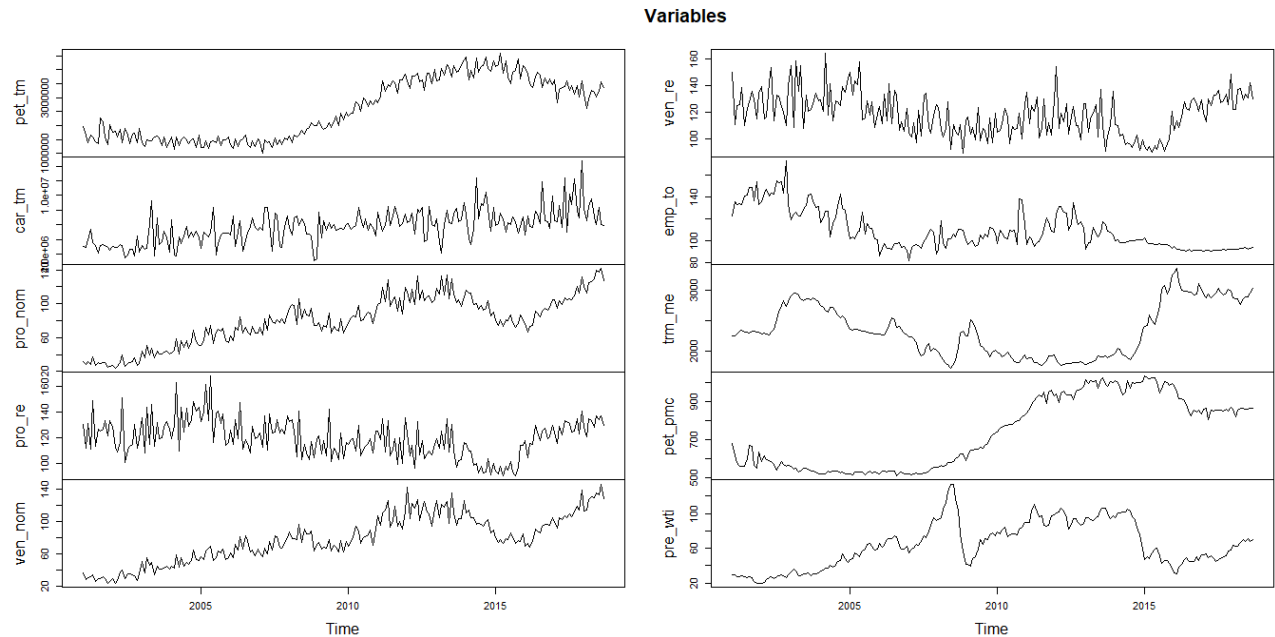
*esa manera la canasta energética nacional*".<sup>7</sup> Las variables relacionadas en la refinación generalmente no son incluidas en la construcción de modelos de pronóstico de esta variable, este trabajo de grado busca corroborar si efectivamente las actividades relacionadas a la refinación del petróleo efectivamente no son estadísticamente significativas en relación a la exportación de petróleo, o más específicamente, a su tasa de crecimiento. Así mismo, se incluyen las principales variables que suelen generar choques en el sector petróleo debido a su variación, tales variables son: la tasa representativa del mercado, el precio del petróleo WTI de referencia para Colombia (estás bajo factor precio de la ley de la oferta y la demanda), la producción colombiana de petróleo crudo (también en referencia a la ley de la oferta y la demanda por el factor cantidad) y finalmente la exportación de petróleo crudo, este último con base en la definición económica de bienes sustitutos.<sup>8</sup>

7. Refinación, Ecopetrol, 9 de diciembre de 2014.

8. Para comprender la ley de oferta y demanda, véase Mankiw, Capítulo 4, Página 67.  
Para comprender bienes sustitutos, véase Mankiw, Capítulo 4. Página 70.

A continuación, la gráfica 1 muestra el comportamiento de las variables que se introducirán en el modelo:

Gráfico 1. Comportamiento de variables escogidas para introducir en el modelo.



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

pet\_tm: Exportaciones de petróleo, toneladas métricas.

car\_tm: Exportaciones de carbón, toneladas métricas.

pro\_nom: Producción nominal, clase industrial refinación de petróleo.

pro\_re: Producción real, clase industrial refinación de petróleo.

ven\_nom: Ventas nominales, clase industrial refinación de petróleo.

ven\_re: Ventas reales, clase industrial refinación de petróleo.



emp\_to: Empleo total, clase industrial refinación de petróleo.

trm\_me: Tasa representativa del mercado.

pet\_pmc: Petróleo, producción mensual de crudo.

pre\_wti: Precio petróleo WTI.

A pesar de la evidente volatilidad de cada una de las variables, un análisis gráfico descriptivo muestra que algunas de las variables responden tratando de seguir el comportamiento de la serie de exportaciones de petróleo en Colombia, mientras que otras parecen no seguir o responder a la variable dependiente en ningún momento del tiempo, por lo cual con el desarrollo del modelo se podrá corroborar que variables de las escogidas efectivamente tienen un impacto o incidencia en el modelo construido bajo reglas de significancia estadística.

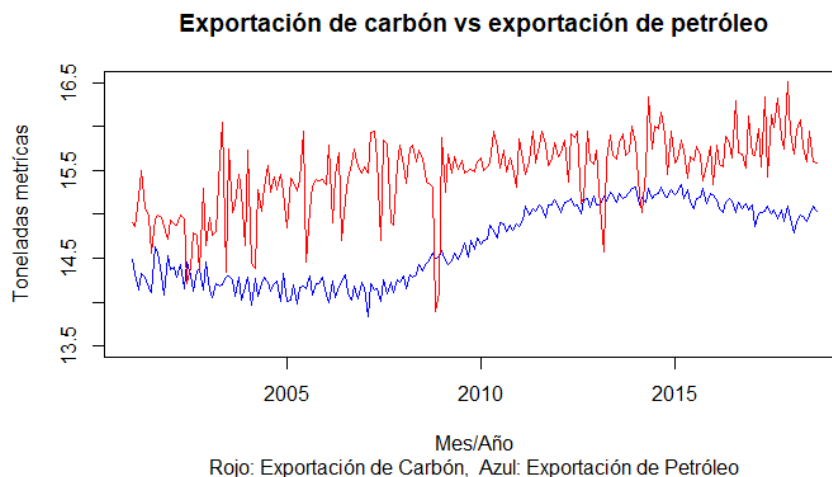
# Capítulo 3

## Marco de referencia

El petróleo y su importancia en la economía colombiana ha sido uno de los temas de investigación más relevantes de los últimos años en el país, lo cual se debe, sin duda, al crecimiento y expansión que el sector ha tenido desde el descubrimiento y explotación del yacimiento de Caño Limón en el municipio de Arauquita en 1983, a partir de aquel acontecimiento, la perspectiva económica de Colombia frente al petróleo, también llamado crudo, cambió radicalmente.

La explotación del yacimiento de Caño Limón le permitió a Colombia convertirse en un país exportador de crudo luego de varios años siendo importador, el auge exportador creció gradualmente hasta situar al petróleo como una de las principales exportaciones del país superando productos como las esmeraldas, el ferroníquel, las flores y el popular y tradicional café, situándose únicamente por debajo del Carbón.

*Ilustración 1. Comparativo exportación de toneladas métricas de carbón vs. toneladas métricas de petróleo*



Fuente: Cálculos propios con base en los datos de exportaciones del DANE.

Caño Limón no sólo significó el renacer de la producción petrolera en Colombia, sino también el de la exportación de petróleo en el país, que posteriormente se ratificaría con el descubrimiento del yacimiento Cusiana, el más grande hallado en Colombia en la década de los noventa según Ecopetrol.

Caño Limón y Cusiana fueron el inicio de un suceso sin precedentes hasta ese momento, el auge petrolero colombiano. Rápidamente el petróleo ganó protagonismo en la economía colombiana a tal punto que no sólo entro a ser parte del grupo de exportaciones tradicionales colombianas, sino que también pasó a ser un bien con un peso mayoritario en términos porcentuales de dichas exportaciones.

Tanto la producción como la exportación de petróleo en Colombia se realizan en su mayoría gracias a Ecopetrol, quien tiene a su cargo la exploración, extracción, producción, transporte, refinación y comercialización. En lo que a exportación se refiere, existen diferentes tipos de crudo, su diferencia radica en su composición, densidad, y los diferentes compuestos químicos agregados para su transporte y comercialización, de acuerdo con Ecopetrol, los tipos de crudo más exportados son: Castilla Blend , el cual se exporta a través del puerto de Coveñas , esta instalación en tierra o también llamada terminal tiene a su cargo el almacenamiento y despacho del crudo Castilla Blend y diferentes tipo de crudo que provienen del interior del país, tal como es el caso del crudo Caño Limón, el cual es producido en el yacimiento homónimo mencionado anteriormente, así como el crudo Vasconia, producido en los llanos y el Alto Magdalena. Otros tipo de crudo exportado son: South Blend , producido en el suroeste de Colombia y exportado a través del Puerto de Tumaco, en la costa pacífica colombiana, crudo Magdalena, una mezcla resultante entre crudo producido en la cuenca del Magdalena Medio y el crudo Castilla.

Como se mencionó anteriormente, Ecopetrol es el principal responsable de la producción y exportación de petróleo en Colombia a través de lo que se denomina operación directa , es decir, mediante sus propios recursos, sin embargo, existen también la operación mediante asociaciones que realiza Ecopetrol con compañías privadas, algunas de las compañías que más producen crudo son: Meta Petroleum Limited, Occidental de Colombia, Mansarovar Energy, Equion Energía, Petrominerales Colombia, Hocol, Petrobras Colombia Limited, Perenco Colombia Limited y Canacol Energy , estas compañías utilizan diferentes oleoductos como el Oleoducto Caño Limón – Coveñas, Oleoducto de Colombia (ODC), Oleoducto Central (Ocensa) entre otros para transportar el crudo hacia los puertos de Coveñas o Tumaco.

De acuerdo al último boletín técnico de exportaciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el cual se comparan las exportaciones del mes de septiembre del año 2017 y el presente año 2018, los principales destinos de petróleo crudo con China, España, Corea, Puerto Rico, Estados Unidos, Bonaire, San Eustacios y Saba y los Países Bajos . Así mismo, también se ha exportado en cantidades relevantes entre enero y septiembre del 2018 a Panamá, Ecuador, India, Turquía y los ya mencionados China y Países Bajos.

# Capítulo 4

## Marco de metodológico

### 4.2 Marco metodológico

En este capítulo se hará explícita la metodología empleada para la estimación del modelo mediante el cual se busca cumplir a cabalidad con los objetivos del trabajo, para ello, se hará una descripción detallada de la construcción de dicho modelo desde la recolección de datos hasta el preámbulo del análisis y resultados.

#### 4.2.1 Recolección de los datos

Para algunos estadísticos, economistas y demás amantes de la recolección de datos, esta última es precisamente la tarea más importante de cualquier investigación, si bien un adecuado manejo de los datos es vital en cualquier trabajo investigativo, así como una adecuada estimación o modelación, la búsqueda, hallazgo y consolidación de los datos son tareas de suma precisión en lo que a investigar se refiere, puesto que de la veracidad o confiabilidad de los datos dependerá, así mismo, la veracidad o confiabilidad de la investigación.

En congruencia con lo anteriormente expuesto, para la recolección de datos de este trabajo de grado, se tuvo el objetivo de obtener los datos de fuentes confiables, cuyas publicaciones sean reconocidas por su seriedad y veracidad.

Los datos del volumen de exportaciones de petróleo colombianas medidas en toneladas métricas, la cual es la variable que se busca pronosticar, fueron tomados del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), más específicamente de las estadísticas de comercio

internacional, exportaciones y finalmente el informe llamado “Colombia, exportaciones de café, carbón, petróleo y sus derivados, ferróníquel y no tradicionales. 1992- 2018p (septiembre)”. De allí mismo se tomó una de las posibles variables explicativas de la variable dependiente, caso de la variable del volumen de exportaciones de carbón, medido también en toneladas métricas.

Este trabajo también busca dar a conocer la incidencia de la clase industrial de la refinación de petróleo en la exportación de dicho commodity, motivo por el cual se tomaron los datos de empleo total, ventas y producción tanto nominal como real de dicha clase industrial, estos datos también fueron obtenidos del DANE, más específicamente de la Encuesta Mensual Manufacturera.

La determinación de incorporar las variables anteriormente mencionadas en un modelo que concluya si hay o no evidencia estadísticamente significativa para afirmar que al menos alguna de estas variables mejora el pronóstico de la tasa de crecimiento de exportaciones de petróleo tiene relación con algunas nociones de economía como los bienes sustitutos o la importancia de la industrialización en el desarrollo y optimización de la productividad. Siguiendo esta misma línea, es muy importante incorporar otras variables económicas, que con base en la teoría explican el comportamiento de la oferta y demanda de bienes y servicios, más específicamente, precios y cantidades.

Un par de factores de vital importancia en las exportaciones, por lo menos de acuerdo a algunas teorías del comercio internacional, resultan ser el precio y el tipo de cambio, de tal manera que para este trabajo la variable que servirá como referencia al precio del petróleo es precisamente el precio WTI (por sus siglas en inglés de West Texas Intermediate) el precio de este tipo de petróleo, extraído en su mayoría del occidente de Texas, Estados Unidos (de allí su nombre) ha sido, históricamente, el referente en cuanto a la medición de ventas de petróleo colombiano se refiere, por este motivo se tomaron los datos del precio mensual de petróleo crudo WTI medido en dólares

americanos por barril. Estos datos se obtuvieron de IndexMundi, una página de internet dedicada a la recolección y compilación de datos cuya principal fuente es el Banco Mundial. Para el tipo de cambio, se recurrió al Banco de la República, quien dentro de sus estadísticas posee una serie de datos promedio mes de la tasa representativa del mercado (sólo de días hábiles).

Por otro lado, una variable primordial según la teoría económica para explicar los principios básicos de oferta y demanda es la cantidad, en este caso la cantidad producida de petróleo, por tal motivo, se incluyó la variable producción mensual de crudo, la cual se tomó de la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) quien actualmente es la entidad gubernamental encargada del manejo de las estadísticas de todo el sector minero energético. Como parte del ministerio de minas y energía y a través del Sistema de Información de Petróleo y Gas Colombiano (SIPG) presenta la variable de producción mensual de crudo medida en miles de barriles producidos por día calendario, esta base es una complicación de diferentes fuentes, dentro de las cuales se encuentran: Ecopetrol, El Ministerio de Minas y Energía y La Agencia Nacional de Hidrocarburos. Para completar y actualizar la base, se recurrió precisamente a La Agencia Nacional de Hidrocarburos y su histórico de noticias.

#### **4.2.2 Actualización de los datos y pronóstico de datos faltantes**

Dado que el objetivo general de este trabajo de grado es realizar un pronóstico, los datos que se van a utilizar deben estar al registro más actual posible, lo ideal, sería tener los datos hasta octubre de 2018 para el caso de este trabajo de grado, una vez recopilados, se evidenció que la gran mayoría de variables tenían información hasta septiembre de 2018, una fecha aceptable teniendo en cuenta que este trabajo se realizó en los primeros días del mes de noviembre del año 2018, sin embargo, los datos tomados de la Encuesta Mensual Manufacturera del DANE correspondientes al empleo total, las ventas y producción tanto nominal como real de la clase industrial refinación de petróleo

publicadas el día 17 de octubre de 2018, tienen su corte al mes de agosto del mismo año. Por tal motivo se procedió a realizar un pronóstico a través de la metodología de Box-Jenkins de cada una de estas cinco variables y de esta manera obtener un dato aproximado correspondiente al mes de septiembre de 2018 y de esta manera empalmar todos los datos hasta este último mes, se recurrió a los modelos autorregresivos integrados de medias móviles (ARIMA) para realizar un pronóstico inicial de las diferentes posibles variables explicativas.

#### **4.2.3. Consolidación de la base de datos**

Una vez recopiladas todas las variables, y empalmadas en cuanto a su periodicidad, se prosiguió a consolidar la base de datos, de esta manera se llegó a una sola base de datos con 10 variables, periodicidad mensual desde enero de 2001 a septiembre del 2018 y un total de 213 observaciones.

##### **4.2.3.1 Partición In-Sample – Out Sample.**

La partición de la serie en In-Sample y Out-Sample. Consisten en separar la muestra en dos grupos, la parte In-Sample tendrá mínimo el 85% del total de los datos, mientras que la parte Out-Sample tendrá el porcentaje restante la partición importante debido a que no sólo permite pronosticar la serie, sino que también permite contrastar dicho pronóstico con el comportamiento de la serie real, esto se profundizará en la sección de análisis y resultados..

#### **4.2.4. Construcción del modelo de pronóstico**

Con base en la metodología de Box-Jenkins, se procedió a realizar la construcción de diferentes modelos de pronóstico para el volumen de exportaciones de petróleo en Colombia, las primeras estimaciones no sólo presentaban autocorrelación serial, también presentaban problemas de no normalidad y la serie no ajustaba adecuadamente, por tal motivo, se realizaron diferentes transformaciones a las series (logaritmos y primeras diferencias) buscando no sólo reducir la



volatilidad de la serie, sino también suavizar su comportamiento para lograr la estacionariedad y solucionar problemas de heterocedasticidad y autocorrelación.

Posteriormente se realizaron diferentes estimaciones con el objetivo de construir el mejor modelo ajustado para pronosticar el volumen de exportaciones de petróleo. Esto se verá con más detalle en la sección de análisis y resultados.

Resulta importante recordar, para realizar la construcción del modelo, se utilizará un modelo SARIMA, el cual es una extensión de los modelos autorregresivos integrados de medidas móviles (ARIMA)<sup>9</sup>, parafraseando a Gujarati (2010): La publicación de Box y Jenkins cambió el panorama de las herramientas de pronóstico, con la metodología de los modelos autorregresivos de medias móviles o ARIMA, donde el pronóstico de una serie, se fundamenta en el análisis de las propiedades probabilísticas, o estocásticas, de las series de tiempo, es decir, que el comportamiento de los datos logra explicarse a sí mismo. Algunas series de tiempo, presentan componentes de tipo estacional, para comprender esto de la mejor manera, se definirá estacionalidad como el fenómeno que provoca saltos en la serie de tiempo siguiendo un patrón repetitivo, en otras palabras, una situación que se presenta generalmente en el mismo período de tiempo cada cierto número de observaciones.

9. Para comprender modelos ARIMA, véase G.P.E. Box y G.M. Jenkins, Time Series Analysis: Forecasting and Control.

Los modelos SARIMA, cuentan con la particularidad de eliminar la estacionalidad (o ciclos) de la serie, vale la pena mencionar que existen varios tipos de estacionalidad dentro de las cuales se encuentran: La estacionalidad determinista, estacionalidad estocástica estacionaria y estacionalidad estocástica no estacionaria. Finalmente, los modelos SARIMAX, que al igual que el modelo SARIMA, posee todas las características de los modelos ARIMA, más la inclusión de la estacionalidad como en el SARIMA y finalmente, la inclusión de posibles variables explicativas del modelo.

El modelo construido, debe cumplir todos los supuestos de no autocorrelación y normalidad, por lo cual se aplicara el test de Ljung – Box y el Jarque Bera.<sup>10</sup>

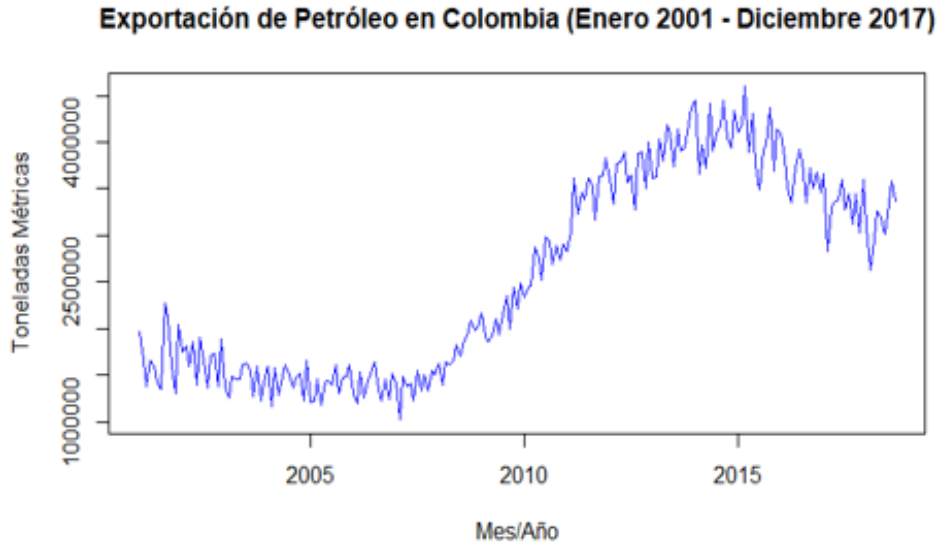
10. Para comprender test de Ljung – Box el Jarque Bera, véase Gujarati, Capítulo 5, Página 131 y 412.

# Capítulo 5

## Análisis y resultados

Como se evidenció en el marco de referencia, la exportación de petróleo y sus derivados ha presentado una tendencia creciente en los últimos años, aun así, a pesar de la expansión del sector, dicho crecimiento no ha sido sostenible a lo largo del tiempo. Aunque el crecimiento es evidente, el comportamiento de la variable es volátil, es decir, la cantidad exportada suele aumentar o disminuir, eso debido a que la cantidad exportada de petróleo responde no sólo a las leyes de oferta y demanda, sino también a las leyes de comercio internacional.

Así las cosas, resulta evidente que un pronóstico de la variable de exportación de petróleo, o en el caso de este trabajo su tasa de crecimiento, en Colombia sólo con base en su pasado, no resultaría en un pronóstico acertado o en términos más formales, no sería estadísticamente significativo, o por lo menos, su confiabilidad se vería bastante reducida.



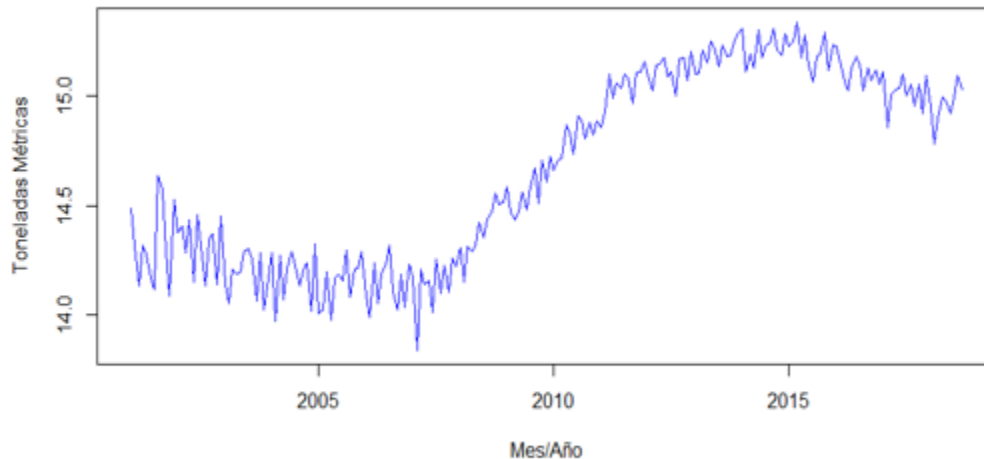
**Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos del DANE.**

Por la razón anteriormente expuesta, en este trabajo de grado se busca construir un modelo que permita pronosticar la tasa de crecimiento de la exportación de petróleo en Colombia con base no sólo en el comportamiento pasado de la serie, sino también incluyendo en el modelo algunas posibles variables explicativas, estadísticamente significativas, que no sólo permitan un modelo más robusto, sino también permitan encontrar el modelo de mejor ajuste y de mejor pronóstico.

Para poder pronosticar la tasa de crecimiento de la variable en cuestión, el primer paso es proceder a una transformación de la serie, esta transformación permitirá convertir los datos de niveles a logaritmos neperianos, al realizar esta conversión, no sólo se suaviza la volatilidad de la serie, también se busca eliminar, o reducir problemas de heterocedasticidad, así mismo, otro motivo para realizar la transformación logarítmica es para evidenciar el impacto de las covariables sobre las tasas de crecimiento de las exportaciones de petróleo y sus derivados.

*Ilustración 3. Tasa de crecimiento de la exportación de petróleo en Colombia*

**Exportación de Petróleo en Colombia - Serie en logaritmos (Enero 2001 - Diciembre 2017)**



**Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos del DANE.**

El paso a seguir es la construcción de un primer modelo de pronóstico, como se mencionó al inicio del capítulo, un pronóstico ARIMA de la serie, es decir, la predicción de la variable con base en su propio pasado no arrojará una estimación adecuada, esto se logra evidenciar al comparar el BIC, y las diferentes pruebas de no autocorrelación y normalidad, en contraste con un modelo que incorpore algunas de las posibles variables explicativas, es decir, un modelo ARIMAX, y que finalmente incorpore los componentes de estacionalidad que pueda tener la serie, teniendo como resultado final un modelo SARIMAX. Posteriormente se evidenciará que este será el modelo de mejor ajuste.

Así las cosas, la metodología empleada para la construcción y estimación del modelo, será la propuesta por Box-Jenkins (1976), es decir, un modelo autorregresivo de medias móviles (ARMA), o autorregresivo integrado de medias móviles (ARIMA).

Cabe resaltar que la metodología de Box-Jenkins sólo es posible aplicarla a series estacionarias , es decir, series que no presenten tendencia y cuya media y varianza sean constantes en el tiempo, para determinar si una serie es o no estacionaria se realizan diferentes test de raíz unitaria, el hallazgo de estas raíces es un claro indicador de que la serie no es estacionaria y por ende necesita de algún orden de integración para llegar a la estacionariedad.

Antes de dar inicio a las pruebas de raíz unitaria, se procede a realizar la partición de la serie en In-Sample y Out-Sample. La parte interior o “In-Sample” corresponde al período comprendido entre enero de 2001 y diciembre de 2017, un total de 204 observaciones, las cuales no sólo representan el 96% del total de la muestra, sino que serán la base de la construcción, estimación y ajuste del modelo, mientras que la parte externa o “Out-Sample” corresponde a las observaciones entre enero de 2018 y septiembre de 2018. Esta partición es de vital importancia debido a que no sólo permite realizar un pronóstico de la serie, sino que también permite contrastar dicho pronóstico con el comportamiento de la serie real, lo cual evidenciará qué tan bien se modela la realidad mediante el modelo construido en un principio.

*Tabla 1. Partición In-Sample- Out-Sample*

**Partición In-Sample – Out-Sample de la serie:**

<u>Muestra</u>	<u>Periodo</u>	<u>Observaciones</u>
In - Sample	Enero 2001 - Diciembre 2017	204
Out - Sample	Enero 2018 - Septiembre 2018	9

Fuente: Elaboración propia.

**Análisis univariado:**

Un análisis del gráfico 2 evidencia una clara tendencia positiva de la exportación de petróleo en Colombia, es decir, la serie es no estacionaria y por ende no cumple el requisito principal de los

modelos autorregresivos de media móvil, esto se puede corroborar aplicando la prueba de raíz unitaria, en este caso se aplicará el test de Dickey-Fuller Aumentado o ADF.

Tabla 2. Test de Dickey-Fuller Aumentado de la tasa de crecimiento de las exportaciones de petróleo.

Dickey-Fuller Aumentado o ADF.		
Serie	Valor Crítico	Estadístico - t
(log(pet_tm1))	-1.95	0.8983
(diff(log(pet_tm1)))	-1.95	-2.8839

Donde:

(log(pet\_tm1)) es el logaritmo natural de la variable exportación de petróleo en Colombia.

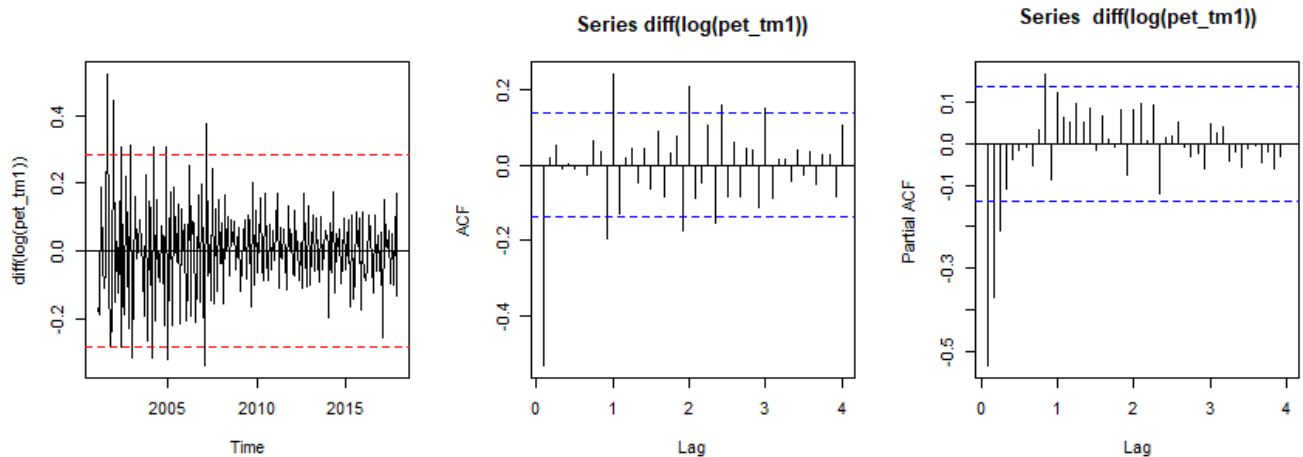
(diff(log(pet\_tm1))) es la primera diferencia del logaritmo natural de la variable exportación de petróleo en Colombia.

Fuente: Elaboración propia.

El test aplicado concluye que la serie de exportación de petróleo en Colombia en su transformación logarítmica es no estacionaria, sin embargo con la primera diferencia de esta variable se rechaza la hipótesis nula del test de Dickey-Fuller Aumentado, por lo cual la serie es estacionaria e integrada de orden 1.

Una vez encontrada la estacionariedad de la serie, se procede, en primera instancia, a construir un modelo autorregresivo integrado de medias móviles (ARIMA), para determinar los componentes autorregresivos y de medias móviles del modelo se recurre al análisis de los gráficos de la función de autocorrelación y la función de autocorrelación parcial.

Ilustración 4. Análisis gráfico de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de la tasa de crecimiento de las exportaciones de petróleo.



El análisis del gráfico de la función de autocorrelación muestra que la serie posee componentes estacionales, esto se evidencia al observar los rezagos 10, 20 y 30, así como los rezagos 9 y 19, a pesar que el efecto se va diluyendo en el tiempo estos rezagos indican “brincos” o sobresaltos en la serie que se traducen en una mayor volatilidad. Para obtener una mejor estimación del modelo, los componentes estacionales deben incluirse en la estimación, por ese motivo, el modelo a construir no será un modelo ARIMA, sino una variación de dicho modelo conocido como SARIMA.

### **Estimación del modelo SARIMA:**

Con base en la observación de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial se procede a estimar diferentes modelos con el fin de encontrar el mejor modelo con base en el criterio de información bayesiano BIC, a continuación se resumen los modelos estimados:



Tabla 3. Resumen de los modelos estimados

*Resumen de los modelos estimados:*

Modelo	BIC	Ljung-Box	Jarque-Bera	et
SARIMA (0,1,1)(0,1,1) <sub>12</sub>	-284.7556	5.841%	<1%	RB
SARIMA (8,1,1)(0,1,1) <sub>12</sub> (8)(1)	-284.2543	42.99%	<1%	RB
<b>SARIMA (0,1,4)(0,1,1)<sub>12</sub> (1,4)</b>	<b>-286.3935</b>	<b>37.94%</b>	<b>&lt;1%</b>	<b>RB</b>

Fuente: Elaboración propia.

Bajo el criterio de información bayesiano (BIC) el mejor modelo del análisis univariado es un modelo SARIMA(0,1,4)(0,1,1)<sub>12</sub> con las estimaciones de los componentes MA(1) y MA(4) con resultados estadísticamente significativos.

El modelo estimado es un buen inicio, sin embargo, su alcance no es suficiente para cumplir con los objetivos de este trabajo, a pesar de ser el modelo con menor BIC, y no presentar autocorrelación serial, (Ver apéndice 1), el modelo aún tiene problemas en cuanto a la normalidad, esto puede evidenciarse mediante el Jarque – Bera test. Además, sus residuales son ruido blanco.

Con el fin de solucionar los evidentes problemas de normalidad, se estima el mismo modelo pero esta vez incluyendo análisis de intervención o análisis de “outliers”.

Tabla 4. Resumen de los modelos estimados

Datos atípicos

Modelo SARIMA (0,1,4)(0,1,1)[12]

(1,4)

Tipo	Valor Atípico	Coef. Estim	Estadístico - t
AO	20	-0.3273925	-4.174451

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan los resultados de la intervención comparado con el modelo original:

Tabla 5. Resumen de los modelos estimados

Resumen de los modelos estimados:

Modelo	BIC	Ljung-Box	Jarque-Bera	et
SARIMA (0,1,4)(0,1,1)12 (1,4)	-286.3935	37.94%	<1%	RB
<b>SARIMA (0,1,4)(0,1,1)12 (1,4) + AO20</b>	<b>-291.7549</b>	<b>64.06%</b>	<b>79.27%</b>	<b>RBG</b>

Fuente: Elaboración propia.

La incorporación de outliers mejora el ajuste del modelo, que a su vez no presenta autocorrelación parcial ni errores de normalidad y sus residuos son ruido blanco gaussiano; este modelo sólo contempla el comportamiento dautorregresivo, aunque matemáticamente se ajusten los resultados, esto no se presenta en el mundo real, ya cuando se trata de exportaciones, y más aún, del codiciado petróleo, no baste realizar un análisis univariado, esto se debe a que como se mencionó anteriormente la oferta y demanda de este bien obedecen a las leyes del comercio internacional, en términos más sencillos, su comercialización depende de factores externos que incentivan a aumentar, mantener o disminuir la exportación del petróleo.

## Análisis multivariado – Modelo SARIMAX.

Para realizar un mejor pronóstico de la tasa de crecimiento de la serie, se introdujeron diferentes variables con el fin de determinar si son estadísticamente significativas y con ellas puede analizar y más aún, pronosticar la tasa de crecimiento de la exportación de petróleo y sus derivados.

Una primera estimación donde se incluyen todas las variables escogidas muestra que el modelo “desmejora” o dicho de otra manera, tiene un BIC más alto que estimaciones anteriores, esto se debe a que como era de esperarse, no todas las variables introducidas en el modelo resultan ser estadísticamente significativas, para solucionar este impase, basta con realizar una modificación al modelo buscando que sólo estime los parámetros estadísticamente significativos, es decir, con una significancia mayor que dos ( $t > 2$ ), caso tal de la exportación de carbón, la tasa representativa del mercado y la producción mensual de petróleo, cabe resaltar que de igual manera se incluye el análisis de intervención realizado anteriormente.

A continuación un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 6. Resumen de los modelos estimados

### Resumen de los modelos estimados:

Modelo	BIC	Ljung-Box	Jarque-Bera	et
SARIMA (0,1,4)(0,1,1) <sub>12</sub> (1,4) + AO <sub>20</sub>	-291.7549	64.06%	79.27%	RBG
SARIMAX (0,1,4)(0,1,1) <sub>12</sub> (1,4) + AO <sub>20</sub> + car_tm1 + pro_nom1 + pro_re1 + ven_nom1 + ven_re1 + emp_to1 + trm_me1 + pet_pmc1 + pre_wti1.	-272.6459	27.02%	64.52	RBG
<b>SARIMAX (0,1,4)(0,1,1)<sub>12</sub></b> <b>(1,4) + AO<sub>20</sub> + car_tm1 +</b> <b>trm_me1 + pet_pmc1</b>	<b>-295.3244</b>	<b>66.96%</b>	<b>56.68%</b>	<b>RBG</b>

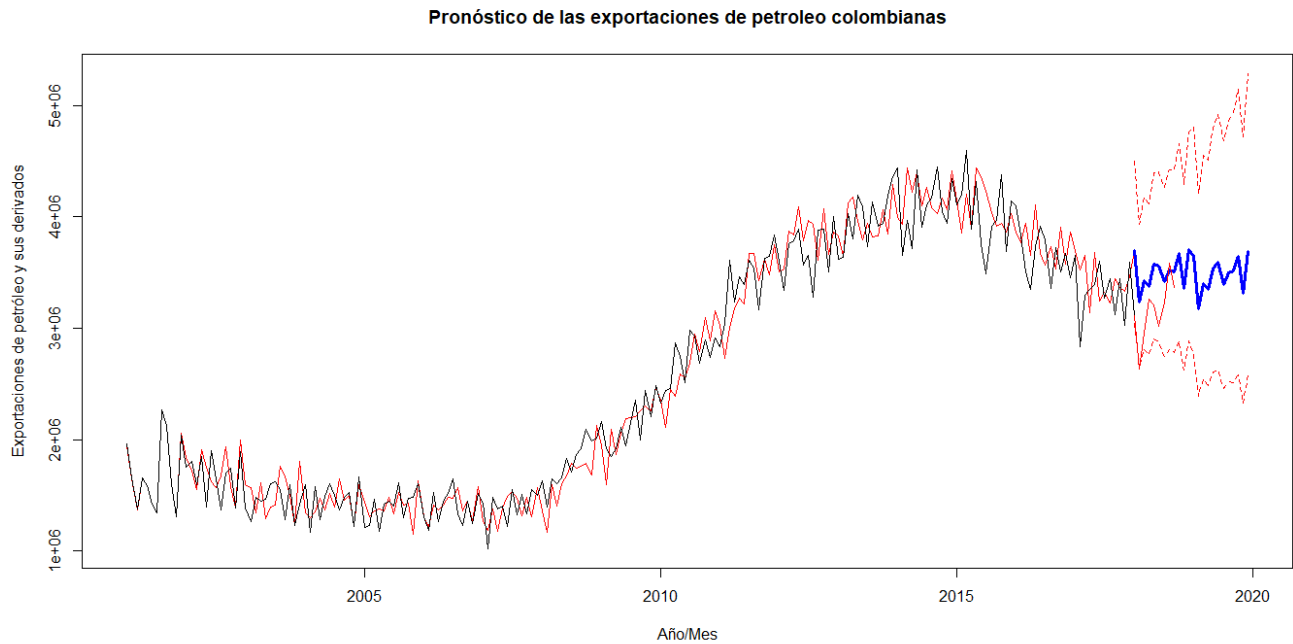
Fuente: Elaboración propia.

El último modelo estimado será entonces, el modelo con el cual se procederá a realizar el pronóstico, dado que los datos de la base finalizan en septiembre de 2018 y teniendo en cuenta que para poder realizar un pronóstico del año 2019 son necesarios los datos las variables que resultaron significativas hasta noviembre del mismo año, se procedió a realizar el pronóstico de cada una de estas variables, en este caso, la exportación de carbón, la tasa representativa del mercado y la producción mensual de petróleo, este pronóstico se realizó usando modelos SARIMA.

Una vez realizado el pronóstico de todas series estadísticamente significativas, se procede a reunir las series en un vector donde se incluya el outlier encontrado en modelos anteriores y cuya incorporación significa una mejora considerable en modelo para así mismo incorporar este vector en una estimación con más robustez y que permita realizar el pronóstico planteado en los objetivos del trabajo.

Finalmente se obtiene un pronóstico de enero de 2018 a diciembre de 2019 de la siguiente manera, de enero de 2018 a septiembre de 2018 es un pronóstico dentro de la muestra, más específicamente de la parte Out-Sample, gracias a esto, es posible comparar los resultados del pronóstico del modelo estimado y que pasó realmente en esos meses, mientras que de octubre de 2018 a diciembre de 2019 será un pronóstico fuera de la muestra, lo anteriormente descrito se observa a continuación:

Ilustración 5. Pronóstico de la exportación de petróleo y sus derivados para Colombia a diciembre de 2019.



La ecuación del modelo será:

*Ecuación:*

$$z_t = (1 - \hat{\theta}_1 L - \hat{\theta}_4)(1 - \hat{\Theta}_1)e_t + \beta_1 Ago02 + \beta_2 car\_tm_{t-1} + \beta_3 trm\_me_{t-1} + \beta_4 pet\_pmc_{t-1} + e_t$$

Donde:

$$\hat{\theta}_1 = -0.8888(0.0499) \quad \hat{\theta}_4 = 0.1639(0.0450) \quad \hat{\Theta}_1 = -0.6704(0.1063)$$

$$\hat{\beta}_1 = \begin{cases} 1, si t = '02 \\ 0, en otro caso. \end{cases}$$

$$\hat{\beta}_2 = -0.0503(0.0174) \quad \hat{\beta}_3 = -0.2631(0.0801)$$

$$\hat{\beta}_4 = 0.4023(0.1082)$$

$$z_t = \nabla^1 \log(y_t)$$

$y_t = pet_{tm1}$ : Exportaciones de petróleo colombianas, toneladas métricas.

$$BIC: -295.3294$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0.009578$$

Pronóstico:

**Pronóstico**

---

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
<b>2018</b>	15.12377	14.98831	15.04677	15.03081	15.08956	15.08482	15.04553
<b>2019</b>	15.10861	14.96945	15.04025	15.02379	15.07836	15.09413	15.03802
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
<b>2018</b>	15.07438	15.07037	15.11502	15.02692	15.12582		
<b>2019</b>	15.06827	15.07325	15.10806	15.01435	15.12124		

**Error de estimación**

---

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
<b>2018</b>	0.09786890	0.09847193	0.09907128	0.09966704	0.10323955	0.10669251
<b>2019</b>	0.13868945	0.14200568	0.14524623	0.14841603	0.15267204	0.15681259
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>2018</b>	0.11003717	0.11328313	0.11643863	0.11951084	0.12250603	0.12542972
<b>2019</b>	0.16084658	0.16478184	0.16862529	0.17238307	0.17606066	0.17966299

Fuente: Elaboración propia.

***Pronóstico sobre los datos***

***reales:***

---

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
<b>2018</b>	3699711	3231012	3425528	3371309	3575293	3558378	3421291	3521424
<b>2019</b>	3644063	3170663	3403288	3347710	3535464	3591688	3395707	3499992
	Sep	Oct	Nov	Dic				
<b>2018</b>	3507353	3667515	3358216	3707305				
<b>2019</b>	3517455	3642066	3316253	3690379				

Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 6

# Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a la estimación del modelo construido, en cuanto a las exportaciones de petróleo y sus derivados en Colombia es posible concluir que: la tasa de crecimiento de la serie seguirá una tendencia creciente, a pesar de esto seguirá teniendo volatilidad, esto debido a los numerosos factores externos que generan choques en la variables, como por ejemplo, la tasa representativa del mercado.

Analizando las salidas del modelo se evidencia que las variables significativas que tienen incidencia en el modelo son: las exportaciones totales de carbón, tasa representativa del mercado, y la producción de petróleo crudo. En cuanto a las exportaciones totales de carbón, por un aumento porcentual de una unidad adicional que se exporte de carbón, la tasa de crecimiento de las exportaciones de petróleo caerá en un 5,03%, esto se debe a que, con base en la teoría económica, es posible afirmar que el carbón y el petróleo en Colombia funcionan como bienes sustitutos, así mismo, por una aumento porcentual de una unidad en la tasa representativa del mercado, la exportación de petróleo caerá un 26,31%, esto es una evidencia de los sensible que resulta ser la variables a los precios de mercado, un aumento de la tasa representativa del mercado, significa que el dólar gana valor frente al peso, de esta manera se pagarían menos dólares por las mismas cantidades exportadas de petróleo antes de la variación.

Finalmente, la producción mensual de crudo también tiene un efecto de choque negativo en las importaciones, por lo menos, en el corto plazo, como se mencionó en el planteamiento del

problema y marco conceptual, la variable objeto de estudio de este trabajo de grado es muy sensible a los choques externos, estos choques a su vez también generan incentivos para producir más o producir menos, una relación positiva entre un aumento porcentual en la producción mensual de crudo, con un aumento porcentual de las exportaciones de petróleo no se verán en el mismo período, pues los efectos de la producción, no son inmediatos, como se mencionó al inicio del documento, son más bien tardíos, razón por la cual una de las recomendaciones de este trabajo será no sólo actualizar el modelo mes tras mes con las cifras oficiales, sino también replicar el ejercicio incorporando más rezagos, con el fin de observar los choques del sector petróleo en la producción y viceversa.

Así mismo es posible concluir que la tasa de crecimiento será en promedio de 15 puntos porcentuales para los meses restantes del año 2018 y el año 2019. Se debe considerar que el petróleo es muy sensible a choques externos, por lo cual vale la pena mencionar que se tiene un mínimo y un máximo entre lo pronosticado para la tasa de crecimiento, el valor mínimo podría tener lugar en febrero del año 2019, mientras que el máximo se podría presentar en precisamente un mes antes, en enero de 2019.



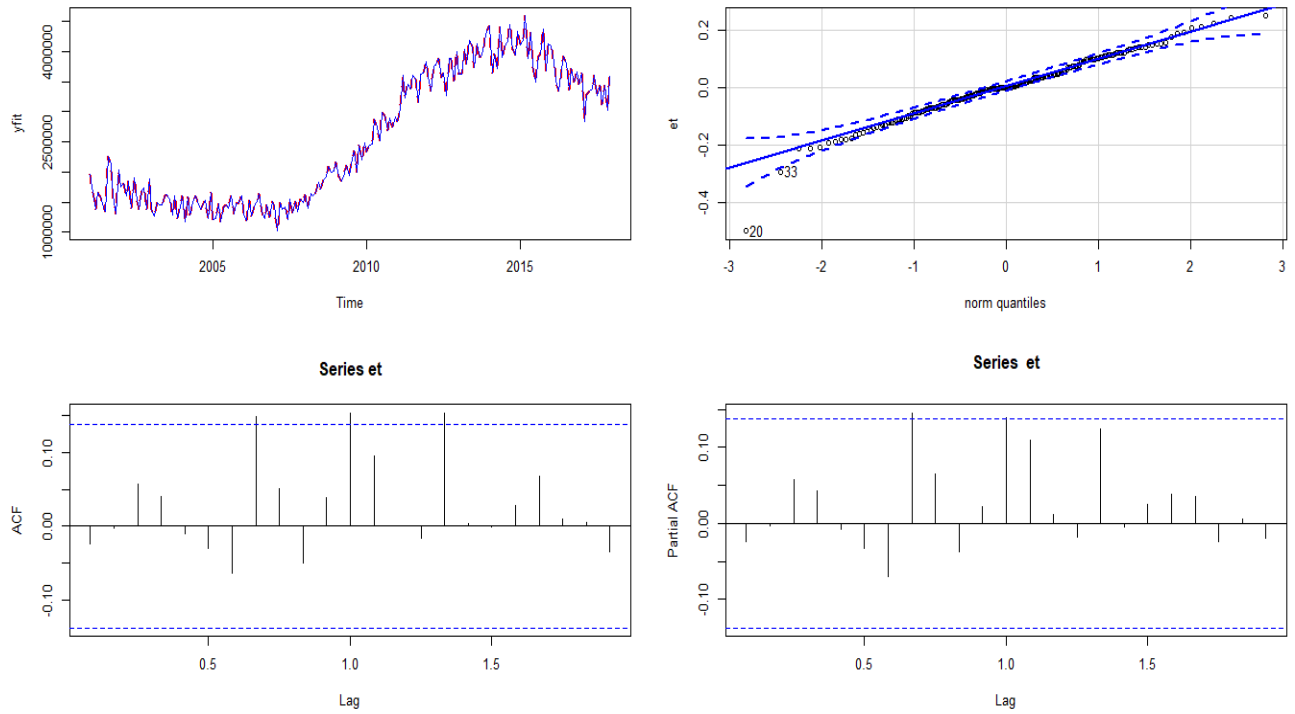
# 7. Bibliografía

- EXPORTACIONES DE CRUDO. Disponible en: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/comercio-internacional/exportaciones/exportaciones-de-crudo>. [En Línea]. Recuperado el: 1 de Noviembre de 2018.
- BOLETIN TECNICO. Disponible en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/exportaciones/bol\\_exp\\_sep18.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/exportaciones/bol_exp_sep18.pdf). [En Línea]. Recuperado el: 5 de Noviembre de 2018.
- CAMPO CUSIANA. Disponible en: <http://www.vanguardia.com/historico/50359-cusiana-revierte-a-colombia>. [En Línea]. Recuperado el: 10 de Noviembre de 2018.
- ART. BORRADORES DE ECONOMÍA. Disponible en: [http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be\\_961.pdf](http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be_961.pdf). [En Línea]. Recuperado el: 12 de Noviembre de 2018.
- ART. BORRADORES DE ECONOMÍA. Disponible en: [http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be\\_906.pdf](http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be_906.pdf). [En Línea]. Recuperado el: 12 de Noviembre de 2018.
- EL PETRÓLEO EN LA ECONOMÍA COLOMBIANA. Disponible en: <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/3115>. [En Línea]. Recuperado el: 12 de Noviembre de 2018.
- GUJARATI DN. 2010. *ECONOMETRÍA*. México D.F.. México. McGraw-Hill Interamericana.

- CAÑO LIMON. Disponible en: <http://revistapetroleoygas.co/cano-limon-el-yacimiento-que-acabo-con-la-sequia/>. [En Línea]. Recuperado el: 11 de Noviembre de 2018.
- EL HALLAZGO DE CUSIANA. Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/caratula/articulo/el-hallazgo-cusiana/182421>. [En Línea]. Recuperado el: 11 de Noviembre de 2018.
- LA MARCA DE CAÑO LIMON. Disponible en: <https://www.ecopetrol.com.co/especiales/carta/actualidad.htm>. [En Línea]. Recuperado el: 10 de Noviembre de 2018.
- PETRÓLEO. Disponible en: <https://www.dinero.com/especiales-comerciales/especiales/articulo/importancia-del-petroleo-en-la-economia-colombiana/258265>. [En Línea]. Recuperado el: 11 de Noviembre de 2018.
- PROCESO DE EXPLORACION Y PRODUCCION. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=m7WkBGZvPOs&t=139s>. [En Línea]. Recuperado el: 11 de Noviembre de 2018.
- REFINACION. Disponible en: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/refinacion>. [En Línea]. Recuperado el: 09 de Noviembre de 2018.
- MARCO FISCAL DE MEDIANO PLAZO 2018. Disponible en: [http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/ShowProperty?nodeId=%2FOCS%2FP\\_MHCP\\_WCC-119167%2F%2FidcPrimaryFile&revision=latestreleased](http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/ShowProperty?nodeId=%2FOCS%2FP_MHCP_WCC-119167%2F%2FidcPrimaryFile&revision=latestreleased). [En Línea]. Recuperado el: 14 de Noviembre de 2018.

# Apéndice

## Apéndice 1. Pruebas gráficas de la estimación del modelo SARIMA(0,1,4)(0,1,1)<sub>12</sub>.

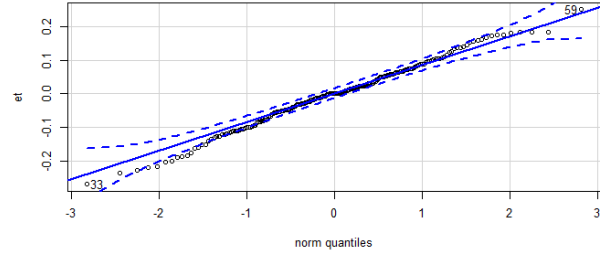
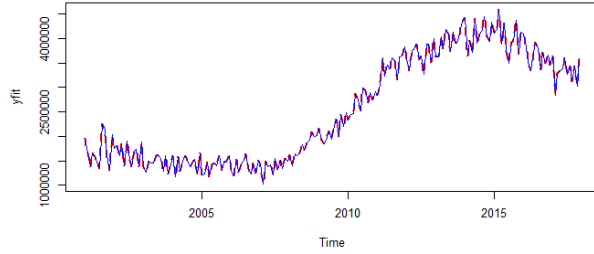


Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 1.1. Pruebas gráficas de la estimación del modelo:

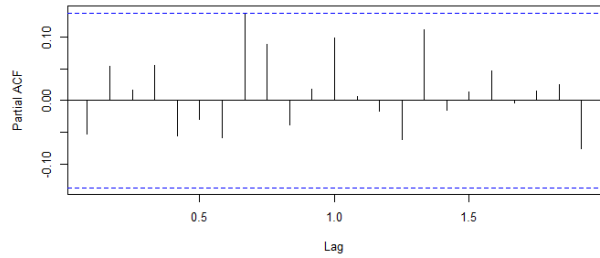
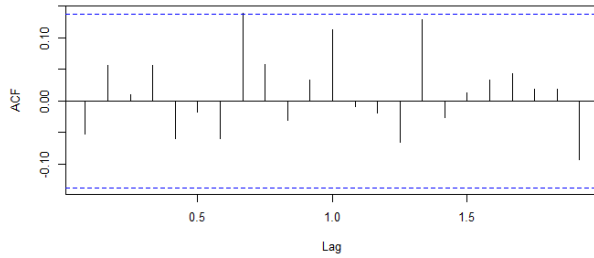
$$SARIMAX(0,1,4)(0,1,1)_{12} + AO20 + car\_tm_1 + trm\_me_1 + pet\_pmc_1$$

(1,4)



Series et

Series et



Fuente: Elaboración propia.