

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y  
PETRÓLEOS**

**Análisis de la tendencia del precio del barril del marcador del  
crudo Ecuatoriano West Texas Intermediate (WTI)**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
PETRÓLEOS  
MODALIDAD: ARTÍCULO ACADÉMICO**

**BRYAN CRISTIAN LEMOS YÁNEZ**  
bryanlemos94@hotmail.com

**DIRECTOR: MSc. BLADIMIR CERÓN GUERRA**  
ignacio.ceron@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2017

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Bryan Cristian Lemos Yáñez, bajo mi supervisión

MSc. Ing. Bladimir Cerón Guerra  
DIRECTOR DE PROYECTO

## **DECLARACIÓN**

Yo, Bryan Cristian Lemos Yáñez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí presente es de mi autoridad; que no ha sido previamente presentado para ninguna calificación profesional para la obtención del título de ingeniero o de ninguna índole académica; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la ley de propiedad intelectual fijada por parte de la Escuela Politécnica Nacional en su reglamento y normativa institucional vigente, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a dicha institución.

**Bryan Cristian Lemos Yáñez**

## **DEDICATORIA**

El fruto de varios años de estudio y al final plasmado en este documento todo mi esfuerzo lo dedico a mis padres, Walberto Lemos y Marilú Yáñez las personas más importantes en mi vida, que han sido los pilares fundamentales quienes han sabido guiarme de la mejor manera por los senderos de la vida brindándome su apoyo incondicional para llegar a cumplir mis objetivos.

A mi novia Hilary Henao, aquella persona que a pesar de la distancia ha estado cuando más la necesité en el transcurso del cumplimiento de este sueño brindándome aquel soporte emocional que todo ser humano necesita.

A mi familia que ha tenido la plena confianza en mí, y principalmente a mi abuelito Vicente Yáñez que tanto anheló que llegue este momento y estar presente para ser la principal persona que se sienta orgullosa de mí.

**Bryan Cristian Lemos Yáñez**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de vivir, tener los padres más maravillosos del mundo, y por ser parte de una familia maravillosa en su totalidad.

A mis padres que a pesar de las diversas dificultades siempre me han apoyado en TODO, agradezco de todo corazón a mi madre que fue quien tuvo la valentía de darme la dicha de vivir y de hacer las cosas que más me gustan, por sus consejos, por sus desvelos, por sus besos, por sus abrazos; me faltan palabras para describir todo aquello que pienso de ti madre mía, solo recuerda que siempre serás aquel modelo a seguir y aquella persona que amo con mi alma.

A mi padre con TODO mi corazón, por ser aquel hombre que siempre me ha hecho ver la vida desde otro punto de vista, por enseñarme lo que es el sacrificio, lo bueno, lo malo, por nunca brindarme un mal ejemplo, por brindarme su amor y sus halagos, por darme grandes alegrías en momentos inesperados, te agradezco porque sé que gracias a ti en este momento estoy escribiendo aquellas palabras y sin ti no hubiese logrado muchas cosas, gracias padre mío.

A mi novia Hilary Henao, quien ha sabido comprenderme y apoyarme en todo momento de mi formación profesional con palabras de aliento, de esperanza, de confianza, y de espera y hoy gracias a ello se refleja el fruto de todo esfuerzo planteado.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por todos los conocimientos impartidos por parte de los profesionales que lo conforman, quiero aprovechar para agradecer al ingeniero Bladimir Cerón quien tuvo la plena confianza en mí, un amigo quien tuvo la plena libertad de brindarme en reiteradas ocasiones palabras de aliento y guiarme para que este sueño se convierta en realidad.

Agradezco a toda mi familia por confiar en mí y brindarme palabras de sabiduría en el transcurso de la vida me han ayudado mucho tanto en lo personal como en lo profesional.

## CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	II
DECLARACIÓN .....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	VII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	VIII
1. Resumen y Abstract .....	1
1.1. Resumen .....	1
1.2. Abstract .....	2
2. Introducción.....	3
2.1. Pregunta de investigación.....	6
2.2. Objetivo general.....	6
2.3. Objetivo específico.....	6
3. Materiales y Métodos.....	6
3.1. Precios del barril de petróleo WTI.....	6
3.1.1. Demanda mundial de petróleo.....	7
3.1.2. Reservas mundiales de petróleo .....	8
3.1.3. Desarrollo de nuevas energías.....	9
3.2 Métodos.....	11
3.2.1. Transformada discreta de Fourier .....	12
3.2.2. Series de Fourier .....	13
3.2.3. Análisis matemático.....	14
4. Resultados y discusión .....	17
5. Conclusiones y recomendaciones .....	20
5.1. Conclusiones .....	20
5.2. Recomendaciones .....	22
Referencias bibliográficas .....	23
ANEXOS .....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de precios históricos del barril de petróleo WTI versus tiempo	5
Figura 2. Demanda mundial de petróleo versus tiempo.....	7
Figura 3. Reservas mundiales de petróleo versus tiempo.....	8
Figura 4. Representación porcentual de tipos de energía .....	10
Figura 5. Transformada discreta de Fourier .....	12
Figura 6. Series de Fourier .....	13
Figura 7. Parámetro $a_i$ en función del número de muestra .....	16
Figura 8. Parámetro $b_i$ en función del número de muestra .....	16
Figura 9. Precio del barril de petróleo WTI versus tiempo .....	17
Figura 10. Gráfico del precio del barril de petróleo WTI versus tiempo. desde el 1 de enero de 1980 hasta el 1 de marzo del 2022 .....	19



## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I.	TABLA DE PRECIOS MENSUALES DEL BARRIL DE PETRÓLEO WTI.....	27
ANEXO II.	TABLA DE PRECIOS FUTUROS DEL BARRIL DE PETRÓLEO WTI .....	33
ANEXO III.	TABLA COMPARATIVA PRECIO REALE VS PRECIO TEÓRICO .....	35
ANEXO IV.	CURVA DE PRECIOS HISTÓRICOS DEL BARRIL DE PETRÓLEO WTI VERSUS TIEMPO .....	37
ANEXO V.	PARAMETROS $a_i$ Y $b_i$ EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE MUESTRAS.....	39
ANEXO VI.	GRÁFICO DEL PRECIO DEL BARRIL DE PETRÓLEO WTI VERSUS TIEMPO. DESDE EL 1 DE ENERO DE 1980 HASTA EL 1 DE MARZO DE 2022 .....	41
ANEXO VII.	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	43

# **Análisis de la tendencia del precio del barril del marcador del crudo Ecuatoriano West Texas Intermediate (WTI)**

---

Bryan Cristian Lemos Yáñez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Escuela Politécnica Nacional. Ladrón de Guevara E11-253. Quito, Ecuador.

\*E-mail: bryanlemons94@hotmail.com

## **1. Resumen y Abstract**

### **1.1. Resumen**

El objetivo principal de este documento es el análisis del precio del barril de petróleo WTI tanto de datos históricos como de una proyección de los mismos. Los datos para el desarrollo de la investigación son desde el 1 de enero de 1980 hasta el 1 de febrero del 2016 y en el caso del intervalo de predicción será desde el 1 de marzo de 2016 hasta el 1 de marzo de 2022. El tamaño del mercado del petróleo ha oscilado entre \$20-\$150 por barril respecto a los datos de precios históricos, dicho acontecimiento ha ocurrido anteriormente y se espera que los precios futuros oscilen dentro de este rango. Los precios del petróleo están ligados a tres factores importantes: la demanda mundial, el desarrollo de nuevas energías y las reservas mundiales. Los tres factores interactúan directamente con el precio de barril de petróleo *West Texas Intermediate (WTI)* en el mercado. La transformada discreta de Fourier tiene la capacidad de llegar a un ajuste perfecto de los precios mensuales del barril de petróleo WTI y gracias a la ayuda tecnológica de programas como Matlab y Excel ha sido posible reproducir tal desarrollo matemático con el fin de llegar al objetivo principal de la investigación. La predicción ayudará a ver el panorama del mercado petrolero desde el punto de vista técnico, analítico y específico hacia el futuro, esto ayudará arribar a conclusiones y recomendaciones con una certeza importante con respecto al desarrollo del mercado petrolero en el mundo y en el Ecuador.

**Palabras claves:** Parámetros de Afectación, *West Texas Intermediate*, Matlab, Excel, Transformada Discreta de Fourier

## 1.2. Abstract

The principal objective of this paper is the price analysis of the barrel of oil WTI both historical and prices would be expected in a future time, proceed to work with data from 1980 to 2016 and in the case of prediction interval, this will be from March 1, 2016 to March 1, 2022. The size of the oil market has oscillated between \$ 20- \$ 150 per barrel with respect to historical price data, this event has occurred previously and it is expected that future prices will oscillate within this range. Oil prices are linked to three important factors: global demand, the development of new energies and world reserves. The three factors interact directly with the price of a barrel of West Texas Intermediate (WTI) oil in the market. The discrete Fourier transform has the ability to reach a perfect adjustment of the monthly prices of the WTI oil barrel and thanks to the technological help of programs like Matlab and Excel it has been possible to reproduce such mathematical development in order to reach the main objective of the investigation. The prediction will help to see the oil market panorama from the technical, analytical and specific point of view towards the future, this will help arrive at conclusions and recommendations with an important certainty regarding the development of the oil market in the world and in Ecuador.

**Keywords:** Affectation Parameters, West Texas Intermediate, Matlab, Excel, Discrete Fourier Transform.

## 2. Introducción

Gran parte del sector hidrocarburífero del Ecuador se ha visto afectado en los últimos años, la desacelerada reducción en la producción y posterior exportación del crudo ecuatoriano ha generado tasas de desempleo a nivel nacional. **Velastegui Luis Ángel, 2004.**

El país exporta dos tipos de crudo: el crudo Oriente de 23 grados API de calidad y el crudo Napo de entre 18 y 21 grados API, dichos crudos son de menor calidad que el marcador internacional West Texas Intermediate (WTI) que se cotiza diariamente en la Bolsa de Valores de Nueva York y sirve de referencia para el precio del barril de petróleo ecuatoriano. De los dos tipos de crudo disponibles en el Ecuador, el crudo Oriente representa el 67% de las exportaciones mientras que el crudo Napo, el 33% restante. Siempre el crudo Oriente se cotiza a un mayor precio que el Napo debido a su mejor calidad.

La calidad del crudo se mide, entre otros factores, a través de los índices de gravedad API y del contenido de azufre en el petróleo, el crudo ecuatoriano tiene un alto contenido de azufre comparado con el crudo West Texas Intermediate (WTI) y eso afecta al precio de barril en el mercado internacional. **Bob Dudley, 2015**

Mientras más alto sea el contenido de azufre el precio es menor, pues no todas las refinerías en el mundo están preparadas para procesar un crudo de este tipo. Según un estudio de la consultora Quantum, en promedio, el contenido de azufre del crudo ecuatoriano se elevó de 1,51% en el 2004 y a 1,76% en 2007. Por otro lado, cuanto más ligero sea un crudo, más grados tiene en la escala del American Petroleum Institute (API) y en consecuencia su valor se eleva. **Bob Dudley, 2013.**

La caída del precio del petróleo ha sido un tema que ha dado mucho de qué hablar en los últimos años. El precio del barril de petróleo WTI en el mes de febrero del 2016 fue de \$ 30.036 dólares americanos por barril, y llegó a caer por debajo de los \$ 26 por barril, registrando el precio más bajo en el año 2003. Pero, ¿Qué implicaciones tiene la caída del precio del petróleo en las reservas probadas del Ecuador?

Anteriormente el Ecuador se ha beneficiado por los altos precios del barril del petróleo, lo que ha involucrado que todos los proyectos de exploración y explotación han sido

económicamente rentables aumentando de manera directa las reservas explotadas del país.

En la actualidad es notable la no viabilidad de muchos proyectos que no resultan económicamente rentables con el actual precio del barril del petróleo, lo que ha generado incertidumbre a nivel mundial de hacia donde tiende la industria petrolera.

**Nicholas Houghton, Julian Brazier MP and Graeme Lamb, 2011**

Existen factores que se relacionan de manera directa con el precio del barril del petróleo WTI y producen un impacto de gran relevancia comparados con otros como por ejemplo lo impredecible que suelen ser las catástrofes naturales, las guerras, los aspectos sociales, políticos y económicos de los países, entre otros.

Cabe mencionar que la sobreproducción que existe por parte de Estados Unidos con su nueva tecnología el Fracking y países que conforman la OPEP ha generado un desbalance total en las curvas de oferta y demanda del principal producto que mueve al mundo (petróleo), un aumento en la demanda del petróleo genera el aumento del precio del barril, mientras que si existe menos demanda el precio disminuirá.

En la actualidad existe una declinación notable en el desarrollo o descubrimiento de nuevas reservas a nivel mundial, si se sigue explotando desmesuradamente el crudo llegaremos a un punto “no retorno”, es decir al punto que las reservas no alcanzarán a abastecer todo el exceso de demanda que se generará a futuro. Se debe desarrollar nuevas tecnologías para implementar el desarrollo de reservorios no convencionales, la optimización de todos los procesos dentro de la industria petrolera generará una reducción total de costos de producción y un alza notable las utilidades en proyectos de exploración y producción. **Bob Dudley, 2013.**

Existen proyectos que no son económicamente viables, pero con el desarrollo tecnológico lo serán en el futuro, con la dependencia total de profesionales capaces de desarrollar cosas que muchos no están dispuestos hacer, cosas que solo se verán reflejadas cuando todos tengan el compromiso de aquello y se asuma la realidad de la situación en la que está la industria petrolera, es el tiempo exacto de cambiar las cosas, la tecnología de antes ya no es aplicable a la realidad actual.

**Altomonte y Rogat, 2014**

El propósito de la investigación es la predicción del comportamiento futuro de los precios del petróleo ecuatoriano en base a estudios del crudo *West Texas Intermediate* usando modelos matemáticos. El motivo primordial que impulsa dicha investigación es la incertidumbre de lo que podría ocurrir en el futuro con las reservas recuperables del Ecuador, la gran pregunta sería: ¿Hasta cuándo son realmente explotables las reservas recuperables del Ecuador?

La transformada discreta de Fourier es una herramienta muy potente que se utiliza para el análisis de datos puntuales y determinar salidas cuando las entradas son de tipo sinusoidales o combinación de estas. **Dennis G. Zill- Warren S. Wright- Michael R. Cullen. 2012.**

La combinación de estas funciones sinusoidales ayuda a modelar el comportamiento de los altos y bajos que tiene el mercado de la industria hidrocarburífera. El uso de la transformada discreta de Fourier ayuda a almacenar el histórico de precios mensuales del barril de petróleo WTI que será de vital importancia en el análisis de la tendencia que tendrá dicho mercado en años posteriores.

El análisis matemático que se realizará a través de la Transformada Discreta de Fourier desde el punto de vista cuantitativo-cualitativo es muy importante en ambos aspectos, la parte cuantitativa es el proceso del ajuste de precios históricos a una ecuación general, mientras en la parte cualitativa es el análisis e interpretación de lo cuantitativo sobre la tendencia que generará esta ecuación al reflejarla en un período futuro.

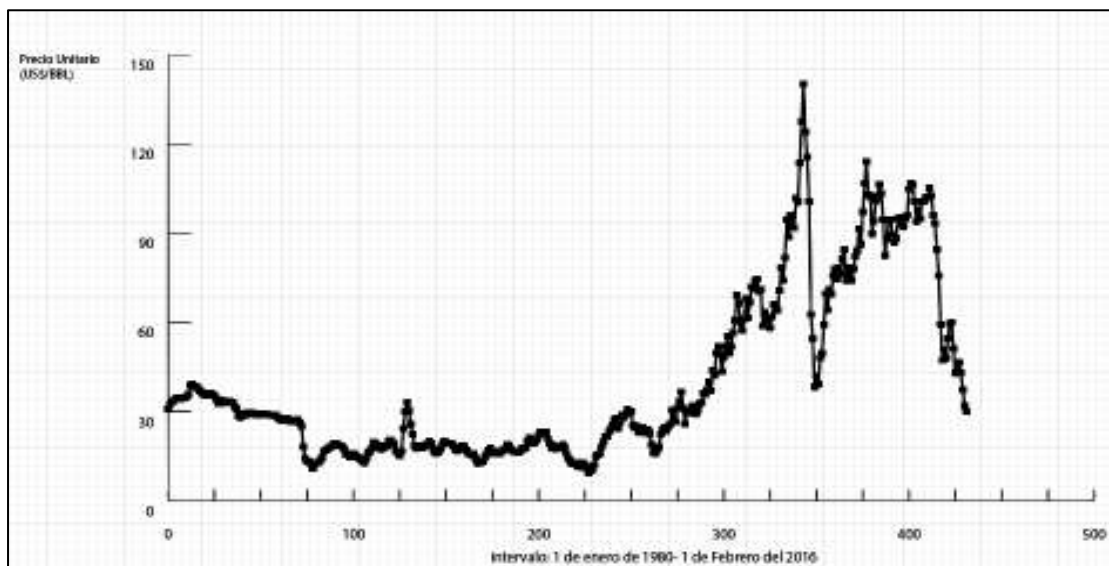


Figura 1. Curva de precios históricos del barril de petróleo WTI versus tiempo.

Fuente: U.S. Energy information administration(2016). Short-term energy outlook. Recuperado el 14 de julio del 2017, de [https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global\\_oil.cfm](https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global_oil.cfm) International energy agency (2016).

## **2.1. Pregunta de investigación**

¿Cuál es la tendencia cualitativa del precio del barril del crudo ecuatoriano?

El precio del barril del petróleo lamentablemente es una variable muy inestable, pero se puede plantear varias asunciones y parámetros para responder dicha pregunta dentro de un margen de certeza aceptable que cumpla las condiciones del modelo matemático planteado en el transcurso del desarrollo de esta investigación.

## **2.2. Objetivo general:**

Ajustar los datos históricos del precio del barril de petróleo WTI a una ecuación para obtener la tendencia a futuro de su comportamiento.

## **2.3. Objetivos específicos:**

- I. Determinar los factores principales que juegan un papel importante en el precio del barril de petróleo WTI.
- II. Obtener una ecuación matemática a través de la transformada discreta de Fourier que se ajuste a los datos de los precios históricos mensuales del WTI desde 1980 hasta 2016.
- III. Analizar los factores principales dentro de la ecuación generada con la transformada discreta de Fourier
- IV. Evaluar y analizar la tendencia del crudo ecuatoriano de forma cualitativa.
- V. Predecir un rango del precio del barril de petróleo WTI dentro del mercado.

## **3. Materiales y Métodos**

### **3.1. Precios del barril de petróleo WTI**

Los datos del precio mensual del precio del petróleo WTI se obtuvieron a partir de la página web de *Energy Information Administration, BCE*, escogidos desde enero de 1980 hasta febrero del 2016.

Los precios históricos han sido afectados por diversos factores, entre los más influyentes están:

### 3.1.1. Demanda mundial de petróleo

La demanda es un factor creciente, se espera que crezca en un 0.8% anual en el intervalo analizado a futuro. ***The Energy Outlook 2035, (2016).***

La Administración de Información de Energía de Estados Unidos (AIE), anticipó que los requerimientos mundiales de crudo registrarán su mayor crecimiento de los últimos seis años, en tanto que la oferta se estabilizará debido a un estancamiento de la producción de los países que no integran la OPEP. La demanda mundial de petróleo crecerá a su mayor nivel en seis años para el 2016 mientras los suministros de los países fuera de la OPEP se estancarán. ***U.S. Energy information administration, (2016).***

De acuerdo el panorama de la EIA a corto plazo, los suministros mundiales subirían en total a 95.98 millones de barriles por día (bpd) en el 2016, es decir, 0.1 por ciento menos de lo previsto el mes pasado. La demanda, en tanto aumentaría en 270 mil barriles por día (bpd), a 95.2 millones de barriles, un alza de 0.3 por ciento respecto a un pronóstico en septiembre, debido en parte a un panorama de sólido crecimiento de la demanda en China. Los analistas y especializados en temas de predicciones pronostican un crecimiento anual de 0.9% anual con respecto a la demanda del petróleo, esto afecta directamente el crecimiento de la población mundial.

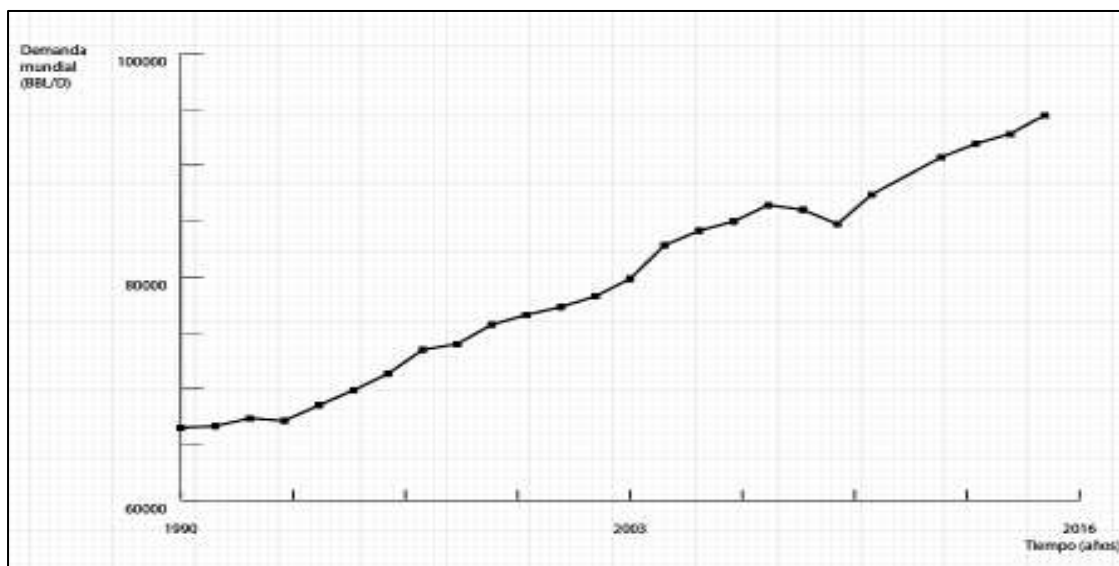


Figura 2. Demanda mundial de petróleo versus tiempo.

Fuente: U.S. Energy information administration(2016). Short-term energy outlook. Recuperado el 21 de junio del 2017, de [https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global\\_oil.cfm](https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global_oil.cfm) International energy agency (2016).



### 3.1.2. Reservas mundiales de petróleo

El petróleo como fuente energética no renovable ya está dando señales de agotamiento a nivel mundial debido a la acelerada producción para abastecer toda la demanda en el mercado. Se espera tener un punto “no retorno” dentro de un tiempo determinado.

Realizando un breve análisis con respecto a un enfoque histórico de descubrimientos de reservas mundiales versus la producción y el impacto directo por el desbalance de estos dos parámetros podemos plantear un punto “no retorno”, este análisis se refiere a que el precio del petróleo a partir de dicho punto aumentará debido a su escasez.

Podemos observar en el gráfico 3, que a principios de 1930 comenzó una tendencia de descubrimientos y de incrementar las reservas mundiales lo cual nos generó una curva de producción creciente, a partir del año de 1970 se produjo una disminución de descubrimientos, pero esto no generó una disminución en la producción (no se define un punto “no retorno”), este fenómeno se puede explicar por medio de un balance entre la producción y las reservas.

La producción ha ido consumiendo las reservas y a partir del punto “no retorno” el precio del barril de petróleo se ve afectado directamente por el decrecimiento de las reservas mundiales.

Se plantea dentro del gráfico 3 áreas para poder definir la cantidad de reservas restantes y las reservas producidas con el fin de analizar el inicio del punto “no retorno” en nuestro análisis posterior.

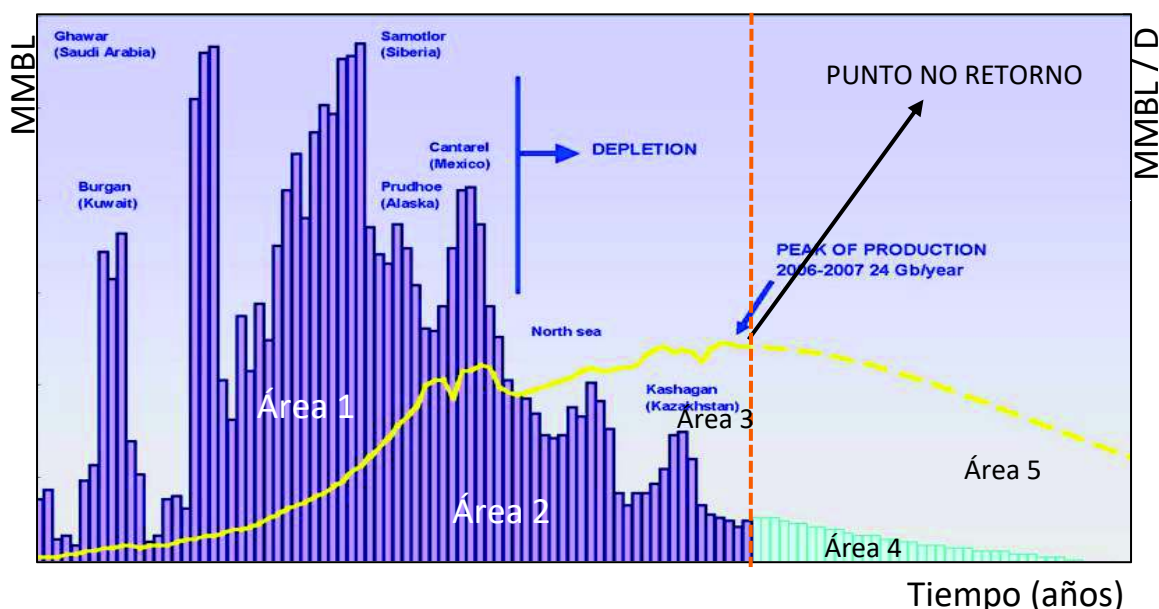


Figura 3. Reservas mundiales de petróleo versus tiempo.

Fuente: U.S. Energy information administration(2016). Short-term energy outlook. Recuperado el 1 de julio del 2017, de [https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global\\_oil.cfm](https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global_oil.cfm) International energy agency (2016).

Área 1: Reservas mundiales remanentes o restantes

Área 2: Reservas ya producidas o explotadas

Área 3: Reservas mundiales remanentes explotadas

Área 4: Reservas descubiertas

Área 5: Reservas mundiales remanentes explotadas

Área 1- Área 3= Reservas remanentes por explotar= Área 6

Área 4+ Área 6= Reservas remanentes totales a futuro= Área 7

Cuando el Área 7 no es suficiente para sostener la producción, se genera una declinación irreversible (punto "no retorno") para la producción, esto afecta directamente al precio del petróleo el cual aumentaría debido a que se va haciendo más escaso con el tiempo.

El análisis del balance entre la producción y las reservas mundiales sobre el punto "no retorno" es cualitativo, cabe recalcar que el único objetivo es dar a entender dicho punto, no un análisis cuantitativo lo cual si fuera el caso se tendría que trabajar con funciones tanto de producción y de reservas en función del tiempo y así integrarlas para obtener un área bajo la curva exacta. Un punto "no retorno" se da cuando las reservas remanentes totales a futuro no son suficientes para sostener la producción, esto generará una declinación irreversible en la producción de hidrocarburos para sostener la demanda.

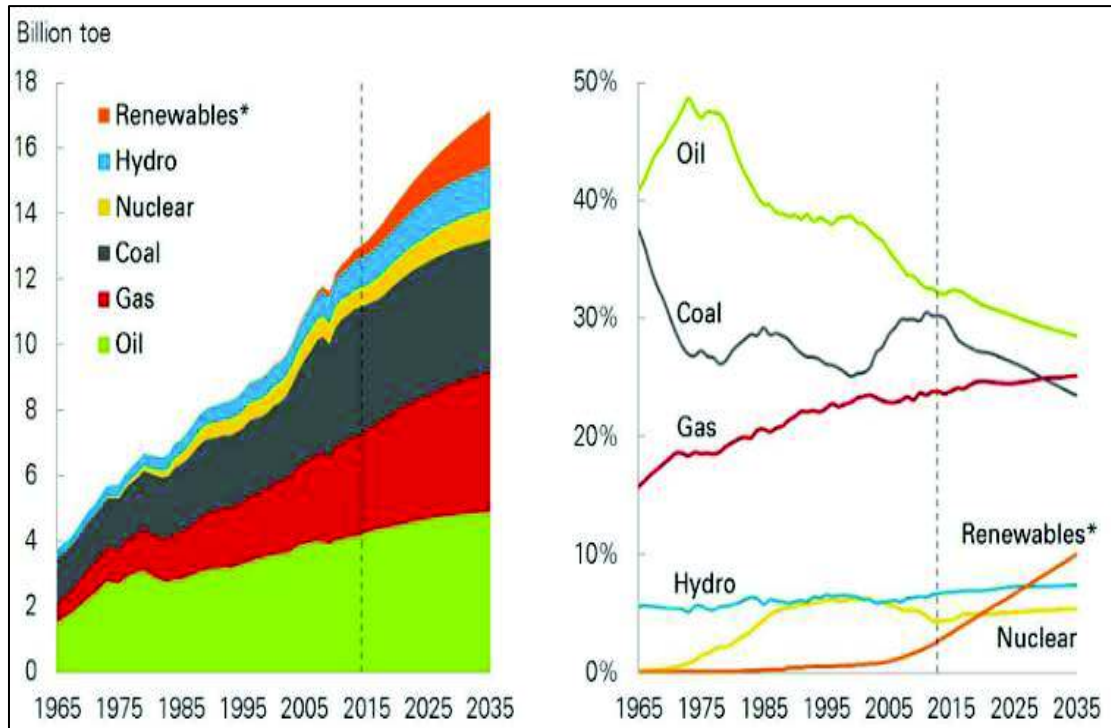
Se espera que el aumento de las reservas mundiales de petróleo se de alrededor de 0.857009%. ***The Energy Outlook 2035, (2016).***

### **3.1.3. Desarrollo de nuevas energías**

Energía alternativa sería equivalente al concepto de energía renovable o energía verde, están incluidas la energía nuclear o incluso la hidroeléctrica. Estudios realizados por *The Energy Outlook 2035 (2016)* indican que el consumo de los demás combustibles caerá, siendo más acusada la caída del carbón (-54%), seguida por la del petróleo (-23%). El decrecimiento del precio del barril de petróleo por nuevas energías es de -0.04545% anual. ***The Energy Outlook 2035, (2016).***

La definición de "energía alternativa" difiere según los distintos autores: en las definiciones más restrictivas, energía alternativa sería equivalente al concepto de

energía renovable o energía verde, mientras que las definiciones más amplias consideran energías alternativas a todas las fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo); en estas definiciones, además de las renovables, están incluidas la energía nuclear o incluso la hidroeléctrica.



**Figura 4. Representación porcentual de tipos de energía.**

Fuente: U.S. Energy information administration(2016). Short-term energy outlook. Recuperado el 1 de julio del 2017, de [https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global\\_oil.cfm](https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global_oil.cfm) International energy agency (2016).

Estos parámetros son importantes en el análisis, los cuales afectan de forma directa al precio del barril de petróleo WTI como se explica de la siguiente manera:

- La demanda del petróleo a nivel mundial es un parámetro directamente proporcional al precio del barril de petróleo WTI.
- El aumento del consumo de nuevas energías produce una caída del precio del barril de petróleo WTI en el mercado internacional debido al reemplazo de energías no renovables por renovables.
- La disminución de las reservas a nivel mundial produce un incremento en el precio del barril de petróleo WTI debido a que cada vez el combustible fósil se hace más escaso.

## 3.2. Métodos

La transformada discreta de Fourier es una aproximación de las series de Fourier, donde se aplica el principio de aproximar una integral a una sumatoria para poder encontrar la función discreta que rige a los datos experimentales puntuales. *Rudin, W. 1979*

Las ventajas y desventajas de tener una función con la transformada discreta de Fourier frente a una función polinomial para el posterior ajuste de la data histórica de los precios del barril de petróleo WTI:

### Ventajas:

1. La transformada discreta de Fourier nos permite ajustar al 100% los datos históricos del precio del barril de petróleo WTI mientras que una función polinomial no se ajustaría con tal precisión.
2. Posee una “memoria” de almacenamiento de todos los acontecimientos ocurridos en el pasado que han afectado al precio del barril del petróleo.
3. La transformada discreta de Fourier trabaja en un rango específico (tamaño del mercado del precio del petróleo), mientras que una función polinomial podría dispararse a cualquier valor fuera de este rango, sería absurdo aplicar dicha ecuación y tener en un tiempo  $t$  un precio del barril de petróleo WTI de -100 dólares.

### Desventajas:

1. La transformada discreta de Fourier posee un desarrollo matemático mucho más complejo que un ajuste de una ecuación polinomial la cual se realiza por el método de mínimos cuadrados.
2. En el desarrollo matemático por medio de la transformada discreta de Fourier se consideran factores analógicamente no numéricos, como son los aspectos sociales y políticos.

### 3.2.1 Transformada discreta de Fourier

La transformada discreta de Fourier permite ajustar datos puntuales a una ecuación de sumatorias finitas de funciones senos y cosenos que logran reproducir dichos datos.

**Dym, H., McKean, H. P. 1972**

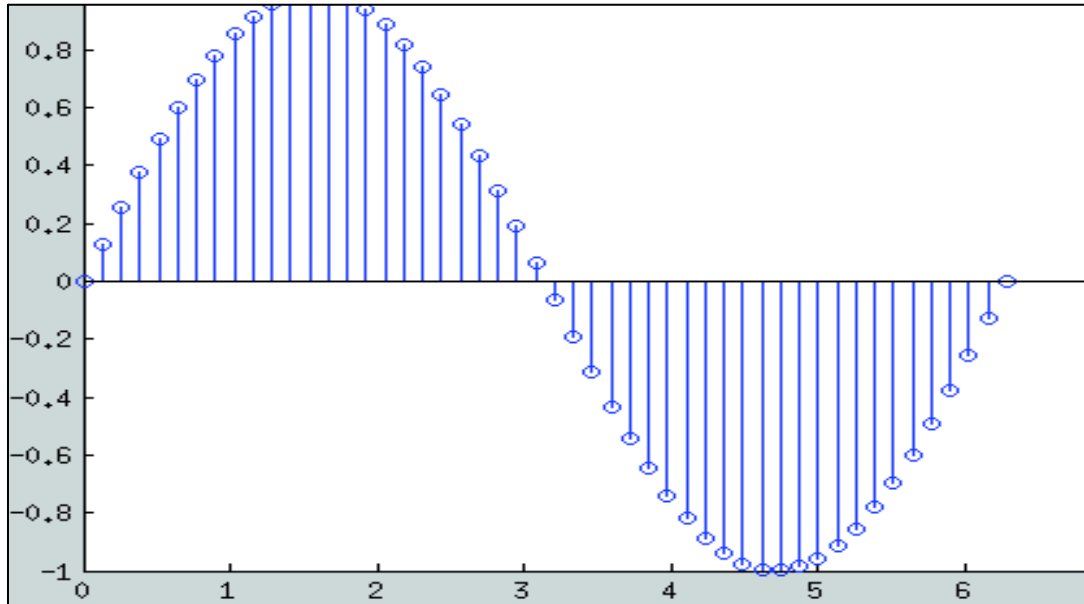


Figura 5. Transformada discreta de Fourier.

Fuente: Mathstools(2016). Short-term energy outlook. Recuperado el 15 julio del 2017, de [https://www.google.com.ec/search?q=series+de+fourier+graficas&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjOrNWNvbwAhWJWCYKHHCJBc0Q\\_AUICigB&biw=2133&bih=1082](https://www.google.com.ec/search?q=series+de+fourier+graficas&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjOrNWNvbwAhWJWCYKHHCJBc0Q_AUICigB&biw=2133&bih=1082).

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \quad (1)$$

$$a_i = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N X_k \cos\left(\frac{2\pi k}{N} i\right) \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots \dots \frac{N}{2} - 1 \quad (2)$$

$$b_i = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N X_k \sin\left(\frac{2\pi k}{N} i\right) \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots \dots \frac{N}{2} - 1 \quad (3)$$

$$X(t) = a_0 + \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} a_i \cos\left(\frac{2\pi i}{T} t\right) + \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}-1} b_i \sin\left(\frac{2\pi i}{T} t\right) \quad \text{Ecuación Final} \quad (4)$$

$$a_{N/2} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k \cos(k\pi) \quad (5)$$

N: Número de datos históricos del precio del barril de petróleo WTI.

$X_k$ : Precio histórico del barril de petróleo WTI.

T: Período, igual al número de datos históricos del precio de barril de petróleo WTI

t: Número de mes correspondiente a la fecha a analizar.

X(t): Precio del petróleo en función del tiempo

$b_i$ : Parámetro de la ecuación (4)

$a_i$ : Parámetro de la ecuación (4)

$a_{N/2}$ : Parámetro de la ecuación (4)

### 3.2.2 Series de Fourier

Las series de Fourier permiten definir una ecuación de sumatorias infinitas y reproducir datos aproximados de una función continua. **Dyke, P. P. G**

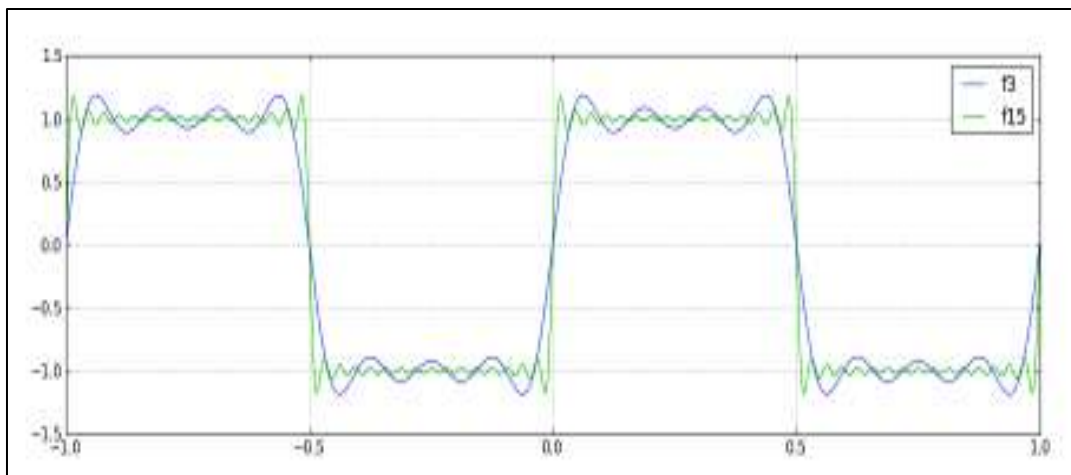


Figura 6. Series de Fourier.

Fuente: Mathstools(2016). Short-term energy outlook. Recuperado el 16 de octubre del 2017, de [https://www.google.com.ec/search?q=series+de+fourier+graficas&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjOrNWNvnbWAhWJWCYKHYCJBc0Q\\_AUICigB&biw=2133&bih=1082#imgsrc=z4JnXSwb331auM](https://www.google.com.ec/search?q=series+de+fourier+graficas&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjOrNWNvnbWAhWJWCYKHYCJBc0Q_AUICigB&biw=2133&bih=1082#imgsrc=z4JnXSwb331auM): (2017)

$$a_0' = \frac{1}{p} \int_{-p}^p f(t) dt \quad (1')$$

$$a_n = \frac{1}{p} \int_{-p}^p f(t) \cos\left(\frac{n\pi}{p} t\right) dt \quad (2')$$

+

$$b_n = \frac{1}{p} \int_{-p}^p f(t) \sin\left(\frac{n\pi}{p} t\right) dt \quad (3')$$

$$f(t) = \frac{a_0'}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi}{p} t\right) + b_n \sin\left(\frac{n\pi}{p} t\right) \quad (4')$$

$[-p;p]$ : Intervalo de variación de la función  $f(t)$

### 3.2.3 Análisis matemático

La transformada discreta de Fourier es un análisis matemático que nos permite generar una ecuación que se ajuste a los datos históricos del precio mensual del barril de petróleo WTI mediante sumatorias de  $N/2-1$  términos de los datos. ¿Por qué no sumar todos los términos a la ecuación final (4)? dicha pregunta tiene una respuesta matemática la cual indica que el conjunto de funciones para el desarrollo de las series de Fourier es ortogonal en el intervalo de  $a < t < a+2p$ , un caso particular se da cuando  $a = -p$ , donde obtenemos los límites de integración de (1'), (2') y (3'). Sin embargo, para  $a=0$  los límites son  $0 < t < 2p$ . Por lo tanto, si la función del precio del petróleo se encuentra definida entre el 1 de enero de 1980  $< t <$  2 de febrero del 2016 ó  $0 < t < N$  ( $N= 430$  datos, desde 1 de enero de 1980 hasta el 2 de febrero del 2016), se identifica que la variable  $t$  debe ser evaluada desde 0 hasta  $p=N/2$ . Se puede plantear una semejanza entre la ecuación (1') y (1), en la ecuación (1') se define una integral en el intervalo  $[-p;p]$ , si dicha integral se plantea mediante una sumatoria esta será planteada como lo dicta la ecuación (1). El principio aplicado para la ecuación (1) con su homólogo se aplican a las ecuaciones (2') y (3'), tomando en cuenta la variación de  $t$  ( $0 < t < N/2$ ).

El término  $a_{N/2}$  es un caso particular de la variable  $a_i$  cuando  $i= N/2$ , el cual es una constante.

Las ecuaciones (4) y (4') son las ecuaciones finales tanto de la transformada discreta de Fourier y la serie de Fourier respectivamente, la transformada discreta de Fourier no necesita una ecuación  $f(t)$  continua, al contrario, nos ayuda a definir dicha ecuación (ecuación de interés), mientras que las series de Fourier debe tener una ecuación  $f(t)$  continua para poder aplicar dicho proceso. Los arreglos matemáticos realizados para llegar de la ecuación (4') a la ecuación (4) son los siguientes:

$$f(t) = \frac{a_o'}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi}{p} t\right) + b_n \sin\left(\frac{n\pi}{p} t\right) \quad (4')$$

$$f(t) = \frac{a_o'}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi}{p} t\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{n\pi}{p} t\right) \quad (4'')$$

$$X(t) = a_o + \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} a_i \cos\left(\frac{2\pi i}{T} t\right) + \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}-1} b_i \sin\left(\frac{2\pi i}{T} t\right) \quad (4)$$

Los términos se pueden semejar entre sí de la siguiente manera:

$$a_o \equiv \frac{a_o'}{2} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} a_i \cos\left(\frac{2\pi i}{T} t\right) \equiv \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi}{p} t\right) \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{\frac{N}{2}-1} b_i \sin\left(\frac{2\pi i}{T} t\right) \equiv \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{n\pi}{p} t\right) \quad (8)$$

¿Por qué se plantea las sumatorias desde  $i=1$  hasta  $N/2$  para  $a_i$  y para  $b_i$  hasta  $N/2-1$ ? La respuesta para tal cuestión está en el punto donde la función coseno es distinta de cero, para un  $T=430$  (período) el elemento  $i=215$  (la mitad del número de datos) la función  $\cos\left(\frac{2\pi i}{T} t\right)$  es distinta de cero, mientras que  $\sin\left(\frac{2\pi i}{T} t\right)$  es igual a cero por ende cabe definir  $a_{N/2}$  para  $i=215$  y no es necesario definir  $b_{N/2}$  debido a que el término  $b_{N/2} * \sin\left(\frac{2\pi i}{T} t\right)$  es igual a cero en dicha singularidad.

La programación utilizada en Matlab para encontrar los parámetros  $a_i$  y  $b_i$  fue:

```
xk=[vector de precios históricos];
N= length(xk);
dt=1;
tk=(1:N)*dt;
plot(tk,xk, '-o', 'markersize', 4, 'markerfacecolor', 'r')
grid on
xlabel('t(meses)')
ylabel('precio($)')
title('análisis precio del petróleo')
a0=sum(xk)/N;
a=zeros(1,N/2);
b=zeros(1,N/2)
k=1:N;
for i=1:N/2-1
    a(i)=sum(xk.*cos(2*pi*i*k/N))*2/N;
    b(i)=sum(xk.*sin(2*pi*i*k/N))*2/N;
end
a(N/2)=sum(xk.*cos(pi*k))/N;

figure
subplot(2,2,1)
stem(a);
xlabel('Armónico')
ylabel('a(i)')
subplot(2,2,2)
stem(b);
xlabel('Armónico')
ylabel('b(i)')

subplot(2,2,3:4) %resultante
t=(0:0.01:12); %segundos
x=zeros(1,length(t));
w0=2*pi/(N*dt);
x=a0;
for i=1:N/2
    x=x+a(i)*cos(i*w0*t)+b(i)*sin(i*w0*t);
end
hold on
```

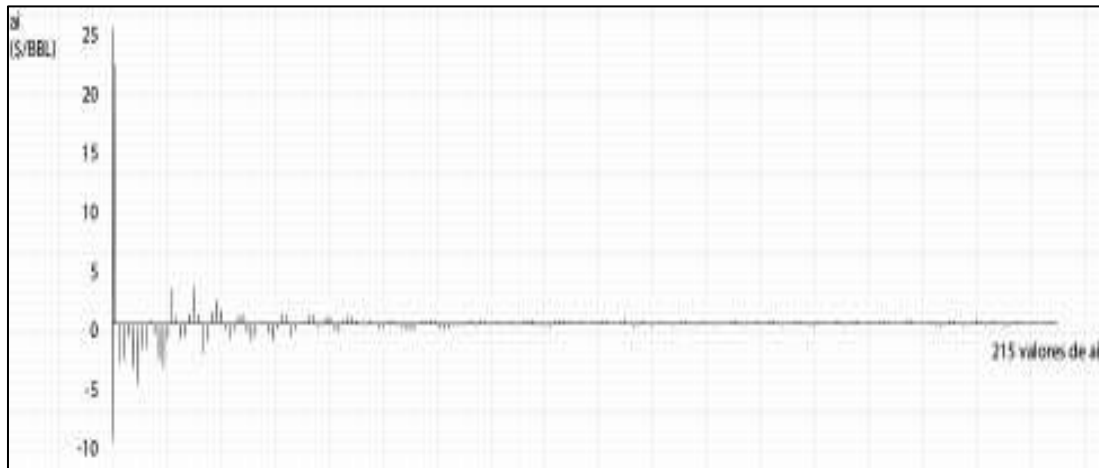


```

plot(t,x,'r')
plot(tk,xk,'o','markersize',4,'markerfacecolor','r')
hold off
grid on
xlabel('t')
ylabel('x')
title('Resultante')

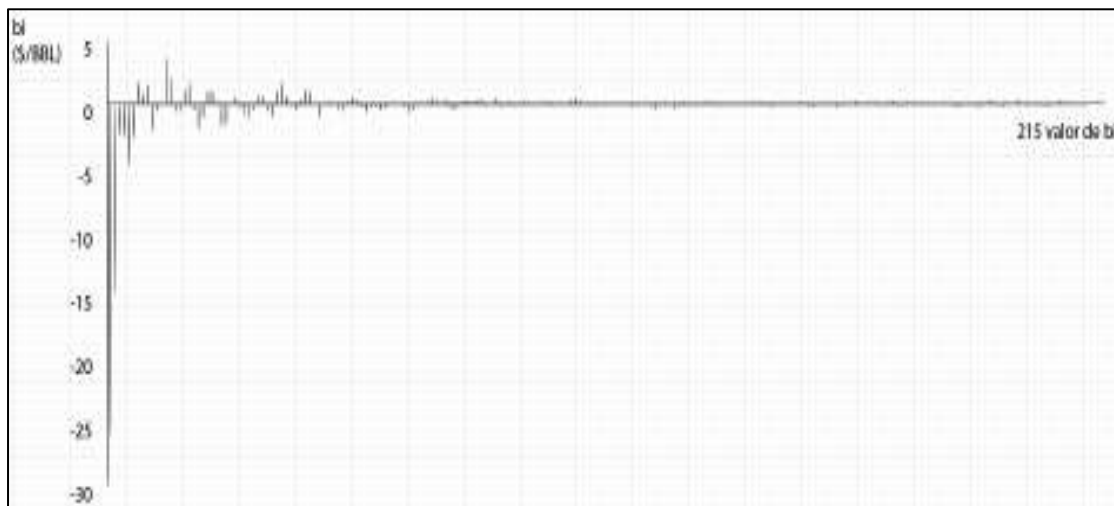
```

Estos parámetros de forma gráfica en función del tiempo se representan de la siguiente manera:



**Figura 7. Parámetro ai en función del número de muestra.**

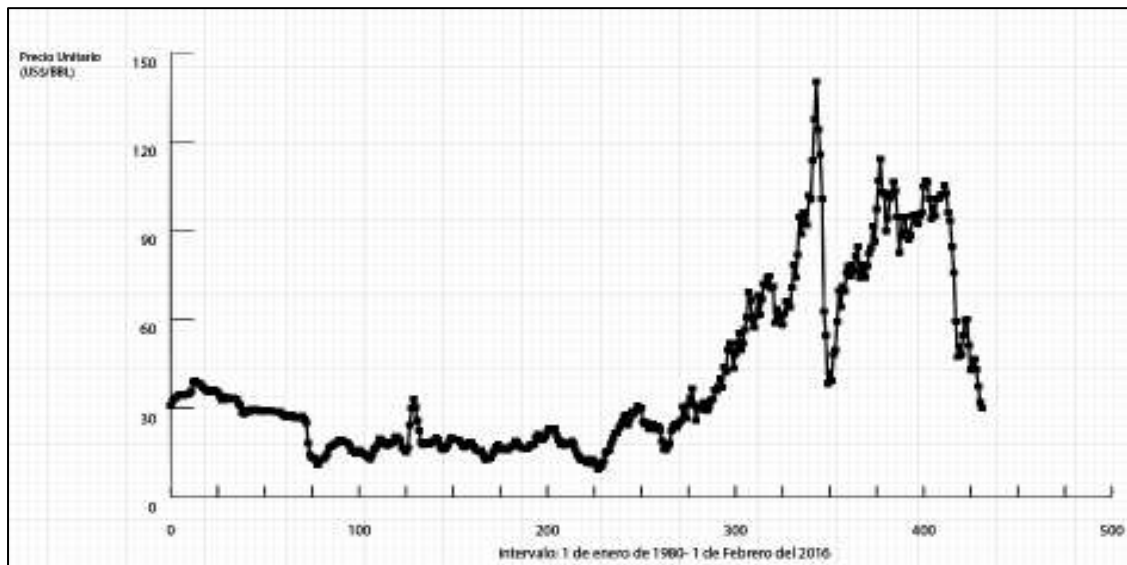
Fuente: Cerón, B., & Lemos, C., (2016). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. Recuperado el 12 de julio del 2017.



**Figura 8. Parámetro bi en función del número de muestra.**

Fuente: Cerón, B., & Lemos, C., (2016). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. Recuperado el 12 de julio del 2017.

El ajuste histórico del precio de barril de petróleo WTI se puede visualizar en la siguiente gráfica:



**Figura 9.** Precio del barril de petróleo WTI versus tiempo (generados con la ecuación (4)). Desde 1 de enero de 1980 hasta 1 de febrero del 2016.

Fuente: Cerón, B., & Lemos, C., (2016). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. Recuperado el 12 del 2016.

Los gráficos generados en Matlab dan un punto de vista analítico muy importante al momento de analizar los armónicos  $a_i$  y  $b_i$ , se puede observar que a medida que  $i$  aumenta tanto los valores  $a_i$  y  $b_i$  tienden a cero. Es por ello que una manera rápida de estimar algún valor del precio del petróleo bastaría en aplicar la ecuación (4) tomando las sumatorias de los valores  $a_i$  y  $b_i$  más significativos.

#### 4. Resultados y discusión

Asunciones para la predicción:

1. El intervalo de predicción posee la memoria de precios históricos los cuales serán afectados por incremento de la demanda mundial, de nuevas energías y el decrecimiento de las reservas en dicho intervalo a analizar.
2. El precio esperado se encuentra entre las curvas de máximos y mínimos precios establecidos por los parámetros (demanda, reservas y nuevas energías).

La memoria de una función se define como un disco de almacenamiento que guarda los datos históricos y permite recordarlos en un futuro posterior.

La ecuación generada a través de la transformada discreta de Fourier nos ayuda a obtener los precios del barril del petróleo sin inflación por parte de la demanda, reservas y desarrollo de nuevas energías, estos valores se los conocerá como “*precios generados con la ecuación*”, esto ayudará a seguir nuestro procedimiento analítico.

A continuación, se genera la curva de máximo valores y curva de mínimos valores. La curva de máximo valores será el promedio entre el incremento del precio del petróleo por parte de la demanda y la disminución de las reservas mundiales, esta curva es una consideración como si solo existiría factores que ayuden a subir el precio del petróleo en el futuro. La curva de valores mínimos será los valores del precio afectados por el desarrollo de las nuevas energías, la cual nos da valores donde solo afecta el factor de disminución del precio del petróleo. Los valores de precios futuros serán un promedio entre los valores máximos y mínimos donde se consideran que el precio es afectado tanto por el incremento de la demanda del mercado mundial, la disminución de las reservas y el desarrollo de las nuevas energías

Cuando el precio del petróleo incrementa o disminuye un porcentaje mensual en el intervalo de predicción se aplican las siguientes fórmulas para encontrar el precio futuro afectado por los factores ya caracterizados anteriormente (demanda, reservas y nuevas energías).

$$precio_{futuro \text{ al mes } n} = \frac{precio \text{ generada con la ecuación}}{(1 - incremento \text{ mensual})^n} \quad (6)$$

$$precio_{futuro \text{ al mes } n} = \frac{precio \text{ generada con la ecuación}}{(1 + decrecimiento \text{ mensual})^n} \quad (7)$$

Para el incremento por demanda y decremento nuevas energías el valor de “n” inicia en un valor igual a 39 en el intervalo de predicción (1 de marzo de 2016 –1 de marzo del 2022), mientras que para el incremento por reservas el valor d “n” inicia en un valor igual a 74 para para el mismo intervalo de predicción (1 de marzo de 2016 –1 de marzo del 2022).

Los valores de “n” son establecidos con respecto a diferentes estudios realizados por parte de *The Energy Outlook 2035* de los parámetros analizados en este artículo (demanda, reservas, y desarrollo de nuevas energías).

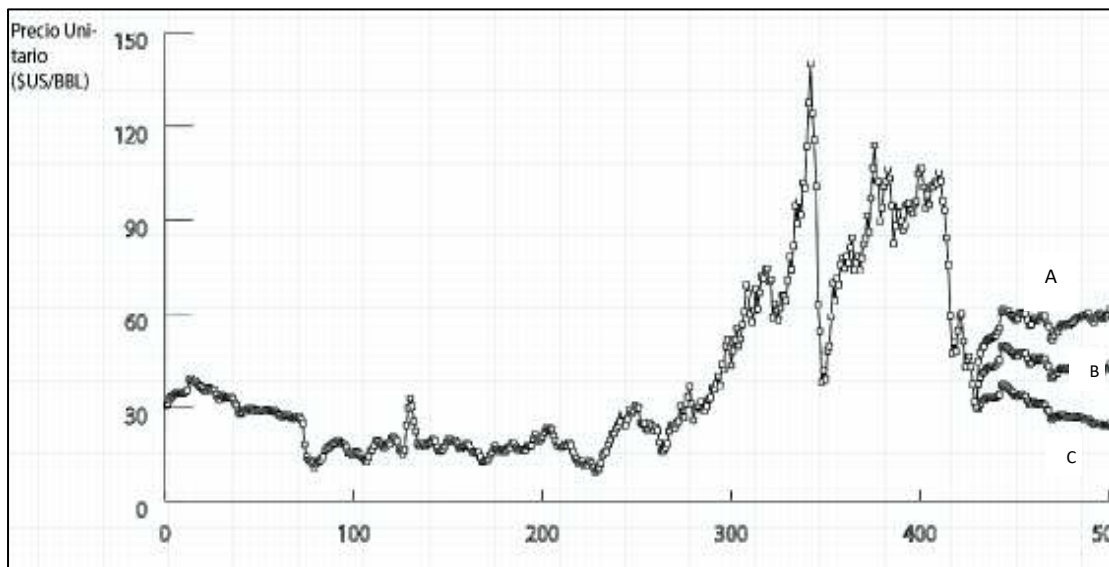


Figura 10. Gráfico del precio del barril de petróleo WTI versus tiempo. Desde el 1 de enero de 1980 hasta el 1 de marzo del 2022.

Fuente: Cerón, B., & Lemos, C., (2016). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. Recuperado el 12 del 2016.

En la figura 10 se presenta una escala particular que no específicamente están los datos de las fechas, nuestra escala se refiere al número que entra directamente en la ecuación final donde la fecha inicial correspondiente al punto de coordenada 0 en x es el 1 de enero de 1980 y el punto final de nuestro dominio es el 503, que representa el 1 de marzo del 2022. Esto quiere decir que habrá que contar los meses a partir del 1 de enero de 1980 para poder utilizar el mes correspondiente en la ecuación generada en nuestro trabajo. Esta transformación es relativamente fácil he aquí un ejemplo sencillo:

Si la fecha que queremos saber el precio del petróleo es el 1 de febrero de 1990, entonces aplicar esta fórmula para ver el número de mes correspondiente:

$$\#mes = (\text{año analizado} - 1980) * 12 + \text{meses correspondientes al año}$$

$$\#mes = (1990-1980)*12+2 \quad ; 2=\text{enero y febrero de 1990}$$

Si el mes a analizar corresponde al rango histórico (Data) dicho precio es el real, pero si el mes analizado corresponde al intervalo de predicción habrá que aplicar las ecuación ya sea (6) ó (7) al precio encontrado por la ecuación final (ecuación (4)), para poder saber el precio del barril del petróleo afectado por los parámetros ya caracterizados (demanda, reservas y nuevas energías).

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones:

- La síntesis de la investigación define tres escenarios claves presentados en la figura 10: 1) la curva A en la figura 10 muestra los de precios altos donde se plantea que solo afectan los parámetros que benefician al precio del barril de petróleo WTI, es decir, el aumento en la demanda mundial y la disminución de reservas mundial de petróleo, los precios en este escenario están entre \$37 y \$65 por barril de petróleo WTI. 2) la curva C en la figura 10 muestra los precios bajos donde se plantea la disminución del precio del barril de petróleo WTI por el desarrollo de nuevas energías, los precios en este escenario están entre \$37 y \$ 35 dólares por barril de petróleo WTI. 3) la curva B en la figura 10 muestra los precios promedios del barril de petróleo WTI que se esperaría a futuro donde se realiza un promedio entre la curva A y C anteriormente explicada, los precios en este escenario están entre \$37 y \$50 por barril de petróleo WTI.
- La transformada Discreta de Fourier tiene la capacidad de retener la memoria de la Data histórica de precios mensuales del barril de petróleo WTI desde 1 de enero de 1980 hasta el 1 de febrero del 2016 acoplándose al comportamiento sinusoidal del mercado y posteriormente predecir la tendencia del precio del barril de petróleo WTI gracias a un ajuste del 100% de los datos históricos del precio del barril de petróleo WTI, dicha particularidad nos asegura la veracidad de los escenarios expuestos anteriormente.
- El estudio del precio del barril de petróleo del marcador WTI permitió definir hacia donde tiende la industria petrolera a nivel mundial y posteriormente brindar un análisis cualitativo de los precios del crudo Napo y Oriente a nivel nacional. El precio del crudo ecuatoriano, Oriente y Napo están regidos por el valor de su marcador WTI, se esperaría un comportamiento similar a los precios del marcador WTI aplicando el descuento respectivo debido al contenido de H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y otros contaminantes que disminuyen el precio en el mercado internacional.
- El incremento de la demanda mundial se espera que aumente con el tiempo de la misma manera que lo hace la población, un aumento de la población genera un aumento en la demanda energética en el periodo desde el 2016 al 2022, situación que es favorable al precio del petróleo.

- Las reservas mundiales irán disminuyendo con el tiempo debido al aumento en la producción y la disminución de los descubrimientos de nuevos yacimientos, produciendo conceptualmente el punto “*no retorno*”, donde las reservas probadas mundiales no abastecerán la producción hidrocarburífera y declinarán linealmente con la producción de petróleo, cooperando en el aumento de precios del hidrocarburo en el periodo analizado.
- La energía alternativa complementa el esquema de evaluación de los precios finales del barril de petróleo, variable que desfavorece sostener precios altos del barril de petróleo; una depresión sostenida de precios bajos podría producir una extinción de la industria petrolera en el futuro.
- El desarrollo tecnológico busca y buscará una sustitución a la quema de fósil en el futuro, probablemente algo desalentador para los profesionales guiados a esta industria, pero hasta que no exista la viabilidad de tales proyectos se sostendrá la exploración y explotación del vital combustible que hasta la actualidad mueve al mundo “Back Gold- Petróleo”.

## 5.2 Recomendaciones:

- El desarrollo matemático planteado a través de la transformada discreta de Fourier no se ajusta a problemas sociales, políticos y económicos que se pueden presentar en el intervalo de tiempo analizado en este artículo.
- Los resultados no tendrán un margen aceptable de comparación con datos reales si se presentan conflictos entre países que juegan un papel de vital importancia en la producción de petróleo a nivel mundial, debido a que dicho parámetro es algo conceptual más que matemático.
- Para cuantificar el precio promedio mensual esperado para el crudo Napo y Oriente, se debería aplicar el descuento respectivo al precio promedio del barril de petróleo del WTI.
- Los parámetros planteados en el análisis de predicción del precio del barril de petróleo WTI fueron analizados de forma lineal, se debería tomar como base una relación no lineal de los parámetros con respecto al precio.
- Los resultados obtenidos en el tiempo de predicción deben ser corroborados con datos Reales como se observa en la tabla 3 de los Anexos, y de esa forma validar el modelo matemático planteado para el estudio de dicho fenómeno.
- Se podría aproximar el precio del barril de petróleo a analizar en un mes en particular escogiendo los datos más relevantes de los coeficientes  $a_i$  y  $b_i$  y luego aplicar en la ecuación final para ver el resultado.
- Se podría realizar un análisis más profundo del comportamiento del mercado desde el punto de vista estadístico involucrando nuevos parámetros como el desarrollo de las reservas no convencionales y variables aleatorias ligadas a los comportamientos políticos, económicos y sociales de los principales países exportadores de petróleo.

## Referencias bibliográficas:

- Altomonte y Rogat. 2014. Políticas de precios de combustibles en América del Sur y México: implicaciones económicas y ambientales, división de recursos naturales e infraestructura de la CEPAL. Recuperado el 26 de julio de 2016. Naciones Unidas CEPAL. Recuperado de <http://www.eclec.org>.
- Álvarez Caballero Miguel A. 2012, "Caracterización Estática De Yacimientos Petroleros a Partir de Análisis de Muestras de Roca", Tesis de Licenciatura Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F
- Bob Dudley. January 2013. BP Energy Outlook 2030. Recuperado el 24 de marzo de 2016, British Petroleum. Recuperado de [http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2015/bp-energy-outlook-booklet\\_2013.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2015/bp-energy-outlook-booklet_2013.pdf)
- Bob Dudley. 2015. BP Energy Outlook 2035. Recuperado el 1 de marzo de 2016. British Petroleum. Recuperado de <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2015/bp-energy-outlook-2035-booklet.pdf>.
- Bob Dudley. 2015. BP Statistical review of world energy june 2015. Recuperado el 23 de marzo del 2016. British Petroleum. Recuperado de <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>
- Dennis G. Zill- Warren S. Wright- Michael R. Cullen. 2012. Matemáticas avanzadas para ingeniería. Colombia, Santa Fe. Cuarta edición, Editorial Punta Santa Fe.
- Dym, H., McKean, H. P. 1972. Fourier Series and Integrals. Academic Press, New York.
- Dyke, P. P. G. An Introduction To Laplace Transforms And Fourier Series. Editorial Springer Verlag ISBN: 9781852330156 ISBN 13: 9781852330156.
- Fernando Sanchez Albavera y Alejandro Vargas. Septiembre 2015. La volatilidad de los precios del petróleo y su impacto en América Latina. Recuperado el 15 de Agosto de 2016. Naciones Unidas CEPAL. Recuperado de <http://www20.iadb.org/intal/catalogo/PE/2010/06149.pdf>.



Hwei P. Hsu. Análisis de Fourier. Editorial Addison Wesley Iberoamericana. ISBN: 0-201-02942-1.

Kolmogorov, A. N. 1972. Fomín, S. V., Elementos de la Teoría de Funciones y del Análisis Funcional. Editorial MIR, Moscú.

Martin, Mariano, Factores volumétricos de formación , 2009. Recuperado de <http://ingenieriadeyacimientos.blogspot.com/2009/03/factoresvolumetricodeformacion.html>, Blog editado por estudiantes de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela.

Martins, Ydarmis, Factores básicos para estimar el aspecto volumétrico del yacimiento, 2009. Recuperado de <http://ingenieria-de-yacimientos.blogspot.com/2009/04/factores-basicos-para-estimar-el.html>, Blog editado por estudiantes de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela.

Nicholas Houghton, Julian Brazier MP, Graeme Lamb. July 2011. Future reserves 2020. Recueprado el 3 de marzo de 2016. The stationery Office (TSO). Recuperadode[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/28394/futurereserves\\_2020.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/28394/futurereserves_2020.pdf).

OilPrice. BP Energy outlook 2030 (2013): nothing more than wishful thinking. Recuperado el 11 de marzo del 2016, de <http://oilprice.com/Energy/Energy-General/BP-Energy-Outlook-2030-Nothing-more-than-Wishful-Thinking.html>

Rodríguez, Diana, Características y Propiedades de los yacimientos, 2008. Recuperado de <http://ingeniería-de-yacimientos.blogspot.com/2008/11/caractersticas-y-propiedades-de-los.html>, Blog editado por estudiantes de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela.

Rudin, W. 1979. Análisis Real y Complejo. Alhambra, Madrid.

Santana, R. E. 1985. "Apuntes Geología del Petróleo". Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Departamento de Explotación del Petróleo.

U.S. Energy information administration (2016). Short-term energy outlook. Recuperado el 2 de marzo del 2016, de [https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global\\_oil.cfm](https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global_oil.cfm)

Velastegui Luis Ángel, junio 2004, "La era petrolera en el Ecuador y su incidencia en el presupuesto general "Observatorio de la economía latinoamericana. Revista académica de economía ISSN, 1696- 8352.

Wallerstein, Immanuel; 1984, *The Politics of The World-Economy. The States, the Movements, and the Civilizations*, Paris, Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, 190 p.

Wilkins, Mira, 1976, "The Oil Companies in Perspective", en R. Vernon et al., *The Oil Crisis*, Nueva York, W. W. Norton & Company Inc., pp. 159-178.

Wirth, John et al.; 1985, *Latin American and the politics of Energy*, Lincoln, Londres, University of Nebraska Press, "Introduction", pp. I-XXXIX.

## **ANEXOS**

**ANEXO I**  
**TABLA DE PRECIOS MENSUALES DEL BARRIL DE**  
**PETRÓLEO WTI**

**TABLA 1. TABLA DE PRECIOS MENSUALES DEL BARRIL DE PETROLEO WTI**

<b>Fecha</b>	<b>Precio</b>		
ene-80	30.750	mar-84	28.950
feb-80	32.400	abr-84	29.110
mar-80	33.420	may-84	29.260
abr-80	33.540	jun-84	29.190
may-80	34.330	jul-84	29.000
jun-80	34.480	ago-84	28.920
jul-80	34.510	sep-84	28.700
ago-80	34.440	oct-84	28.790
sep-80	34.460	nov-84	28.740
oct-80	34.630	dic-84	28.020
nov-80	35.090	ene-85	27.490
dic-80	35.630	feb-85	26.990
ene-81	38.850	mar-85	27.200
feb-81	39.000	abr-85	27.590
mar-81	38.310	may-85	27.600
abr-81	38.410	jun-85	27.250
may-81	37.840	jul-85	26.570
jun-81	37.030	ago-85	26.610
jul-81	36.580	sep-85	26.560
ago-81	35.820	oct-85	26.790
sep-81	35.440	nov-85	27.120
oct-81	35.430	dic-85	26.210
nov-81	36.210	ene-86	24.930
dic-81	35.950	feb-86	18.110
ene-82	35.540	mar-86	14.220
feb-82	35.480	abr-86	13.150
mar-82	34.070	may-86	13.170
abr-82	32.820	jun-86	12.250
may-82	32.780	jul-86	10.910
jun-82	33.790	ago-86	11.870
jul-82	33.440	sep-86	12.850
ago-82	32.950	oct-86	12.780
sep-82	33.030	nov-86	13.460
oct-82	33.280	dic-86	14.170
nov-82	33.090	ene-87	16.450
dic-82	32.850	feb-87	16.980
ene-83	31.400	mar-87	17.260
feb-83	30.760	abr-87	17.890
mar-83	28.430	may-87	18.250
abr-83	27.950	jun-87	18.710
may-83	28.530	jul-87	19.260
jun-83	29.230	ago-87	19.320
jul-83	28.760	sep-87	18.570
ago-83	29.500	oct-87	18.530
sep-83	29.540	nov-87	18.140
oct-83	29.670	dic-87	17.200
nov-83	29.090	ene-88	15.450
dic-83	29.300	feb-88	15.430
ene-84	28.800	mar-88	14.730
feb-84	28.910	abr-88	15.620
		may-88	15.930

<b>jun-88</b>	15.500
<b>jul-88</b>	14.810
<b>ago-88</b>	14.320
<b>sep-88</b>	13.840
<b>oct-88</b>	13.050
<b>nov-88</b>	12.660
<b>dic-88</b>	14.110
<b>ene-89</b>	16.040
<b>feb-89</b>	16.610
<b>mar-89</b>	17.770
<b>abr-89</b>	19.590
<b>may-89</b>	19.050
<b>jun-89</b>	18.270
<b>jul-89</b>	17.990
<b>ago-89</b>	17.230
<b>sep-89</b>	17.620
<b>oct-89</b>	18.290
<b>nov-89</b>	18.320
<b>dic-89</b>	20.050
<b>ene-90</b>	20.510
<b>feb-90</b>	19.780
<b>mar-90</b>	18.940
<b>abr-90</b>	16.660
<b>may-90</b>	16.070
<b>jun-90</b>	15.150
<b>jul-90</b>	16.540
<b>ago-90</b>	24.260
<b>sep-90</b>	29.880
<b>oct-90</b>	32.880
<b>nov-90</b>	30.190
<b>dic-90</b>	25.560
<b>ene-91</b>	22.300
<b>feb-91</b>	18.300
<b>mar-91</b>	17.580
<b>abr-91</b>	18.320
<b>may-91</b>	18.360
<b>jun-91</b>	17.780
<b>jul-91</b>	18.140
<b>ago-91</b>	18.710
<b>sep-91</b>	19.000
<b>oct-91</b>	19.860
<b>nov-91</b>	19.350
<b>dic-91</b>	17.170
<b>ene-92</b>	16.100
<b>feb-92</b>	16.000
<b>mar-92</b>	16.360
<b>abr-92</b>	17.370
<b>may-92</b>	18.790
<b>jun-92</b>	19.830
<b>jul-92</b>	19.740
<b>ago-92</b>	19.250
<b>sep-92</b>	19.260

<b>oct-92</b>	19.340
<b>nov-92</b>	18.400
<b>dic-92</b>	16.940
<b>ene-93</b>	16.800
<b>feb-93</b>	17.410
<b>mar-93</b>	17.820
<b>abr-93</b>	18.350
<b>may-93</b>	17.890
<b>jun-93</b>	16.800
<b>jul-93</b>	15.810
<b>ago-93</b>	15.640
<b>sep-93</b>	15.320
<b>oct-93</b>	15.590
<b>nov-93</b>	14.050
<b>dic-93</b>	12.560
<b>ene-94</b>	12.930
<b>feb-94</b>	12.900
<b>mar-94</b>	13.180
<b>abr-94</b>	14.540
<b>may-94</b>	15.740
<b>jun-94</b>	17.040
<b>jul-94</b>	17.520
<b>ago-94</b>	16.660
<b>sep-94</b>	15.910
<b>oct-94</b>	16.270
<b>nov-94</b>	16.460
<b>dic-94</b>	15.780
<b>ene-95</b>	16.560
<b>feb-95</b>	17.210
<b>mar-95</b>	17.210
<b>abr-95</b>	18.700
<b>may-95</b>	18.560
<b>jun-95</b>	17.430
<b>jul-95</b>	16.500
<b>ago-95</b>	16.540
<b>sep-95</b>	16.710
<b>oct-95</b>	16.290
<b>nov-95</b>	16.520
<b>dic-95</b>	17.530
<b>ene-96</b>	17.480
<b>feb-96</b>	17.770
<b>mar-96</b>	19.900
<b>abr-96</b>	21.330
<b>may-96</b>	20.120
<b>jun-96</b>	19.320
<b>jul-96</b>	19.600
<b>ago-96</b>	20.530
<b>sep-96</b>	22.040
<b>oct-96</b>	23.220
<b>nov-96</b>	22.660
<b>dic-96</b>	23.220
<b>ene-97</b>	23.020

<b>feb-97</b>	20.880
<b>mar-97</b>	19.160
<b>abr-97</b>	17.830
<b>may-97</b>	18.550
<b>jun-97</b>	17.350
<b>jul-97</b>	17.490
<b>ago-97</b>	17.960
<b>sep-97</b>	17.850
<b>oct-97</b>	18.730
<b>nov-97</b>	17.880
<b>dic-97</b>	15.950
<b>ene-98</b>	14.330
<b>feb-98</b>	13.320
<b>mar-98</b>	12.340
<b>abr-98</b>	12.810
<b>may-98</b>	12.610
<b>jun-98</b>	11.610
<b>jul-98</b>	11.550
<b>ago-98</b>	11.340
<b>sep-98</b>	12.770
<b>oct-98</b>	12.110
<b>nov-98</b>	10.990
<b>dic-98</b>	9.390
<b>ene-99</b>	10.160
<b>feb-99</b>	10.330
<b>mar-99</b>	12.100
<b>abr-99</b>	14.820
<b>may-99</b>	15.570
<b>jun-99</b>	15.910
<b>jul-99</b>	18.050
<b>ago-99</b>	19.560
<b>sep-99</b>	21.640
<b>oct-99</b>	21.620
<b>nov-99</b>	23.140
<b>dic-99</b>	24.350
<b>ene-00</b>	25.290
<b>feb-00</b>	27.390
<b>mar-00</b>	27.700
<b>abr-00</b>	24.290
<b>may-00</b>	26.350
<b>jun-00</b>	28.910
<b>jul-00</b>	28.000
<b>ago-00</b>	28.800
<b>sep-00</b>	30.560
<b>oct-00</b>	29.710
<b>nov-00</b>	30.000
<b>dic-00</b>	25.190
<b>ene-01</b>	24.490
<b>feb-01</b>	24.970
<b>mar-01</b>	23.010
<b>abr-01</b>	22.990
<b>may-01</b>	24.630

<b>jun-01</b>	23.950
<b>jul-01</b>	22.760
<b>ago-01</b>	23.770
<b>sep-01</b>	22.510
<b>oct-01</b>	18.760
<b>nov-01</b>	16.060
<b>dic-01</b>	15.950
<b>ene-02</b>	17.040
<b>feb-02</b>	18.240
<b>mar-02</b>	22.290
<b>abr-02</b>	23.980
<b>may-02</b>	24.440
<b>jun-02</b>	23.450
<b>jul-02</b>	24.990
<b>ago-02</b>	25.680
<b>sep-02</b>	30.450
<b>oct-02</b>	27.230
<b>nov-02</b>	26.680
<b>dic-02</b>	31.230
<b>ene-03</b>	33.530
<b>feb-03</b>	36.630
<b>mar-03</b>	31.030
<b>abr-03</b>	25.880
<b>may-03</b>	29.580
<b>jun-03</b>	30.180
<b>jul-03</b>	30.530
<b>ago-03</b>	31.780
<b>sep-03</b>	29.230
<b>oct-03</b>	29.130
<b>nov-03</b>	30.330
<b>dic-03</b>	32.550
<b>ene-04</b>	33.150
<b>feb-04</b>	36.180
<b>mar-04</b>	35.780
<b>abr-04</b>	37.380
<b>may-04</b>	39.900
<b>jun-04</b>	37.050
<b>jul-04</b>	43.800
<b>ago-04</b>	42.120
<b>sep-04</b>	49.650
<b>oct-04</b>	51.770
<b>nov-04</b>	49.140
<b>dic-04</b>	43.460
<b>ene-05</b>	48.210
<b>feb-05</b>	51.760
<b>mar-05</b>	55.410
<b>abr-05</b>	49.730
<b>may-05</b>	51.980
<b>jun-05</b>	56.500
<b>jul-05</b>	60.570
<b>ago-05</b>	68.950
<b>sep-05</b>	66.250

<b>oct-05</b>	59.770
<b>nov-05</b>	57.330
<b>dic-05</b>	61.040
<b>ene-06</b>	67.930
<b>feb-06</b>	61.420
<b>mar-06</b>	66.630
<b>abr-06</b>	71.890
<b>may-06</b>	71.290
<b>jun-06</b>	73.930
<b>jul-06</b>	74.410
<b>ago-06</b>	70.270
<b>sep-06</b>	70.880
<b>oct-06</b>	58.740
<b>nov-06</b>	63.140
<b>dic-06</b>	61.060
<b>ene-07</b>	58.150
<b>feb-07</b>	61.800
<b>mar-07</b>	65.880
<b>abr-07</b>	65.710
<b>may-07</b>	64.020
<b>jun-07</b>	70.690
<b>jul-07</b>	78.220
<b>ago-07</b>	74.040
<b>sep-07</b>	81.670
<b>oct-07</b>	94.540
<b>nov-07</b>	88.720
<b>dic-07</b>	96.010
<b>ene-08</b>	91.760
<b>feb-08</b>	101.850
<b>mar-08</b>	100.360
<b>abr-08</b>	113.460
<b>may-08</b>	127.350
<b>jun-08</b>	140.000
<b>jul-08</b>	124.080
<b>ago-08</b>	115.460
<b>sep-08</b>	100.640
<b>oct-08</b>	62.730
<b>nov-08</b>	54.430
<b>dic-08</b>	38.220
<b>ene-09</b>	41.710
<b>feb-09</b>	39.090
<b>mar-09</b>	47.970
<b>abr-09</b>	49.650
<b>may-09</b>	59.030
<b>jun-09</b>	69.640
<b>jul-09</b>	64.150
<b>ago-09</b>	71.040
<b>sep-09</b>	69.410
<b>oct-09</b>	75.720
<b>nov-09</b>	77.990
<b>dic-09</b>	74.470
<b>ene-10</b>	78.330

<b>feb-10</b>	76.390
<b>mar-10</b>	81.200
<b>abr-10</b>	84.290
<b>may-10</b>	73.970
<b>jun-10</b>	75.940
<b>jul-10</b>	78.360
<b>ago-10</b>	74.020
<b>sep-10</b>	77.860
<b>oct-10</b>	82.180
<b>nov-10</b>	84.200
<b>dic-10</b>	91.380
<b>ene-11</b>	86.190
<b>feb-11</b>	96.970
<b>mar-11</b>	106.720
<b>abr-11</b>	113.930
<b>may-11</b>	102.700
<b>jun-11</b>	102.280
<b>sep-11</b>	89.652
<b>dic-11</b>	94.046
<b>ene-12</b>	100.806
<b>feb-12</b>	102.283
<b>mar-12</b>	106.226
<b>abr-12</b>	103.346
<b>may-12</b>	94.548
<b>jun-12</b>	82.388
<b>jul-12</b>	87.931
<b>ago-12</b>	94.168
<b>sep-12</b>	94.588
<b>oct-12</b>	89.564
<b>nov-12</b>	86.763
<b>dic-12</b>	88.246
<b>ene-13</b>	94.858
<b>feb-13</b>	95.322
<b>mar-13</b>	92.957
<b>abr-13</b>	92.068
<b>may-13</b>	94.800
<b>jun-13</b>	95.900
<b>jul-13</b>	104.699
<b>ago-13</b>	106.539
<b>sep-13</b>	106.235
<b>oct-13</b>	100.553
<b>nov-13</b>	93.854
<b>dic-13</b>	97.894
<b>ene-14</b>	94.835
<b>feb-14</b>	100.657
<b>mar-14</b>	100.509
<b>abr-14</b>	102.035
<b>may-14</b>	101.800
<b>jun-14</b>	105.160
<b>jul-14</b>	102.392
<b>ago-14</b>	96.076
<b>sep-14</b>	93.167



<b>oct-14</b>	84.339
<b>nov-14</b>	75.704
<b>dic-14</b>	59.290
<b>ene-15</b>	47.371
<b>feb-15</b>	50.828
<b>mar-15</b>	47.854
<b>abr-15</b>	54.628
<b>may-15</b>	59.372
<b>jun-15</b>	59.829

<b>jul-15</b>	51.191
<b>ago-15</b>	42.889
<b>sep-15</b>	45.492
<b>oct-15</b>	46.290
<b>nov-15</b>	42.923
<b>dic-15</b>	37.327
<b>ene-16</b>	31.776
<b>feb-16</b>	30.036

Fuente: U.S. Energy information administration(2016). Short-term energy outlook. Recuperado el 14 de junio del 2017, de [https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global\\_oil.cfm](https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global_oil.cfm) International energy agency (2016).

**ANEXO II**  
**TABLA DE PRECIOS FUTUROS DEL BARRIL DE PETRÓLEO**  
**WTI**

TABLA 2. TABLA DE PRECIOS FUTUROS DEL BARRIL DE PETRÓLEO WTI.

<b>Fecha</b>	<b>Precio</b>
mar-16	37.518
abr-16	39.661
may-16	41.046
jun-16	41.331
jul-16	42.446
ago-16	42.775
sep-16	42.958
oct-16	43.017
nov-16	43.190
dic-16	43.552
ene-17	44.284
feb-17	45.122
mar-17	49.372
abr-17	49.737
may-17	49.030
jun-17	49.333
jul-17	48.774
ago-17	47.902
sep-17	47.491
oct-17	46.673
nov-17	46.346
dic-17	46.503
ene-18	47.702
feb-18	47.535
mar-18	47.168
abr-18	47.264
may-18	45.557
jun-18	44.051
jul-18	44.164
ago-18	45.699
sep-18	45.399
oct-18	44.906
nov-18	45.190
dic-18	45.709
ene-19	45.626
feb-19	45.473

mar-19	43.637
abr-19	42.917
may-19	39.824
jun-19	39.309
jul-19	40.286
ago-19	41.441
sep-19	40.940
oct-19	42.165
nov-19	42.395
dic-19	42.757
ene-20	42.095
feb-20	42.575
mar-20	42.023
abr-20	42.360
may-20	42.597
jun-20	43.014
jul-20	43.419
ago-20	43.500
sep-20	43.402
oct-20	43.469
nov-20	43.325
dic-20	43.649
ene-21	43.763
feb-21	42.854
mar-21	42.228
abr-21	41.643
may-21	42.154
jun-21	42.949
jul-21	43.156
ago-21	42.801
sep-21	41.921
oct-21	42.174
nov-21	42.286
dic-21	42.847
ene-22	43.574
feb-22	42.306
mar-22	40.426

Fuente: Cerón, B., & Lemos, C., (2016). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. Recuperado el 12 del 2016.

**ANEXO III**  
**TABLA COMPARATIVA DE PRECIO REALE VERSUS PRECIO**  
**TEÓRICO**

**TABLA 3. COMPARATIVA DEL PRECIO DEL BARRIL DE PETRÓLEO REAL VERSUS EL PRECIO TEÓRICO**

<b>Fecha</b>	<b>Valores de la Ecuación</b>	<b>ERROR %</b>	<b>Valores reales</b>
mar-16	37,518	0.072	37.55
abr-16	39,661	2.682	40.75
may-16	41,046	12.130	46.71
jun-16	41,331	15.231	48.76
jul-16	42,446	4.938	44.65
ago-16	42,775	4.358	44.72
sep-16	42,958	4.922	45.18
oct-16	43,017	13.577	49.78
nov-16	43,190	5.412	45.66
dic-16	43,552	16.201	51.97
ene-17	44,284	15.656	52.50
feb-17	45,122	15.609	53.47
mar-17	49,372	0.089	49.33
abr-17	49,737	2.591	51.06
may-17	49,030	1.143	48.48
jun-17	49,333	9.197	45.18
jul-17	48,774	4.598	46.63
ago-17	47,902	0.281	48.04
sep-17	47,491	4.675	49.75
oct-17	46,673	9.513	51.58
nov-17			
dic-17			

Fuente: Cerón, B., & Lemos, C., (2016). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. Recuperado el 12 del 2016.

**ANEXO IV**  
**CURVA DE PRECIOS HISTÓRICOS DEL BARRIL DE**  
**PETRÓLEO WTI VERSUS TIEMPO.**

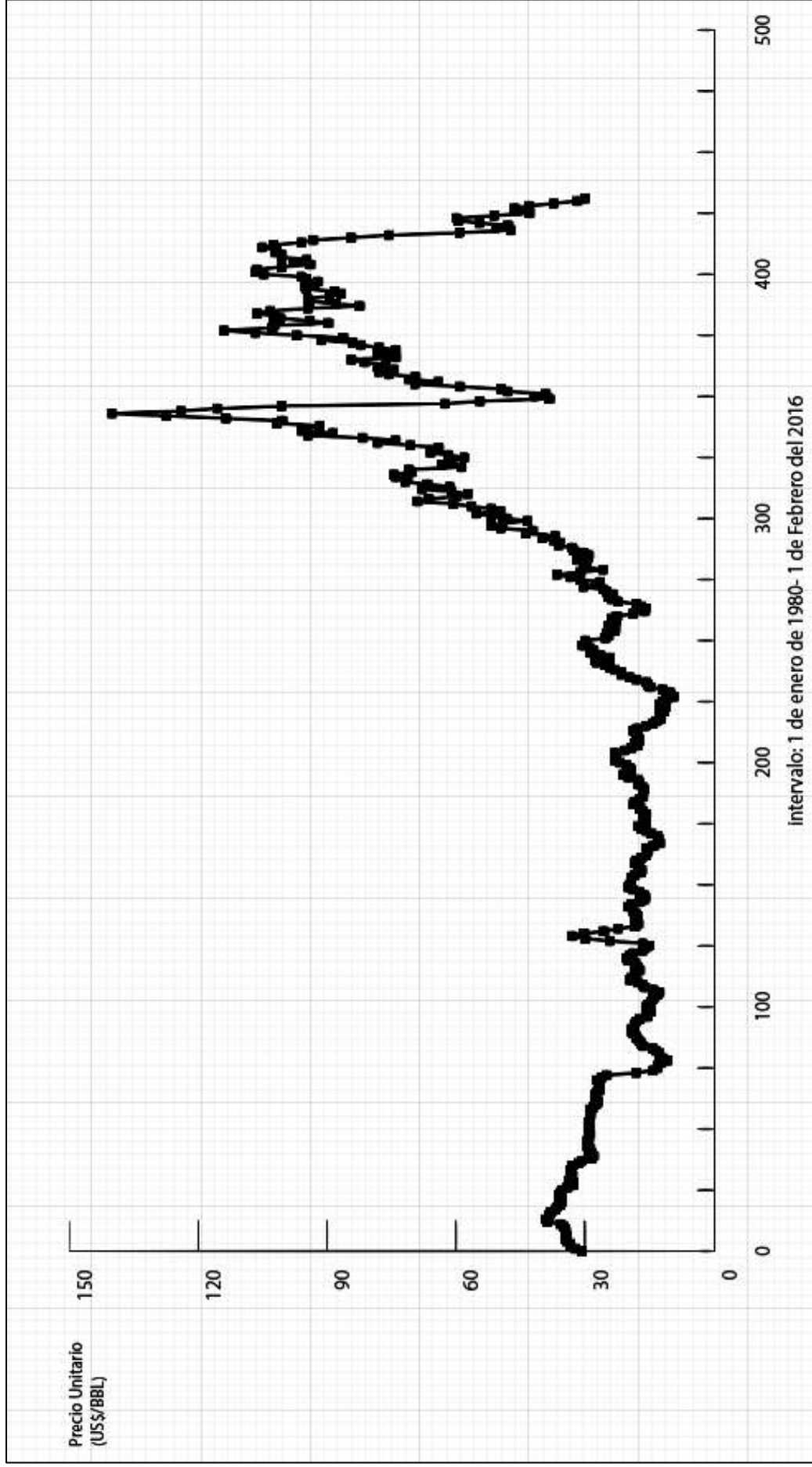


Figura 1. Curva de precios históricos del barril de petróleo WTI versus el tiempo.

Fuente: U.S. Energy information administration(2016). Short-term energy outlook. Recuperado el 14 de junio del 2017, de [https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global\\_oil.cfm](https://www.eia.gov/forecasts/steo/report/global_oil.cfm)

International energy agency (2016).

**ANEXO V**  
**PARÁMETRO  $a_i$  Y  $b_i$  EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE**  
**MUESTRAS**



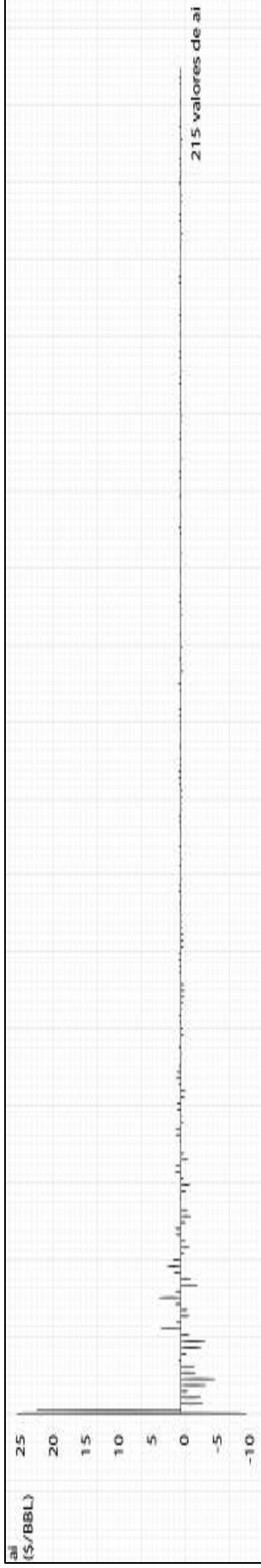


Figura 7. Parámetro  $a_i$  en función del número de muestra.  
Fuente: Cerón, B., & Lemos, C., (2016). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. Recuperado el 12 de julio del 2017.

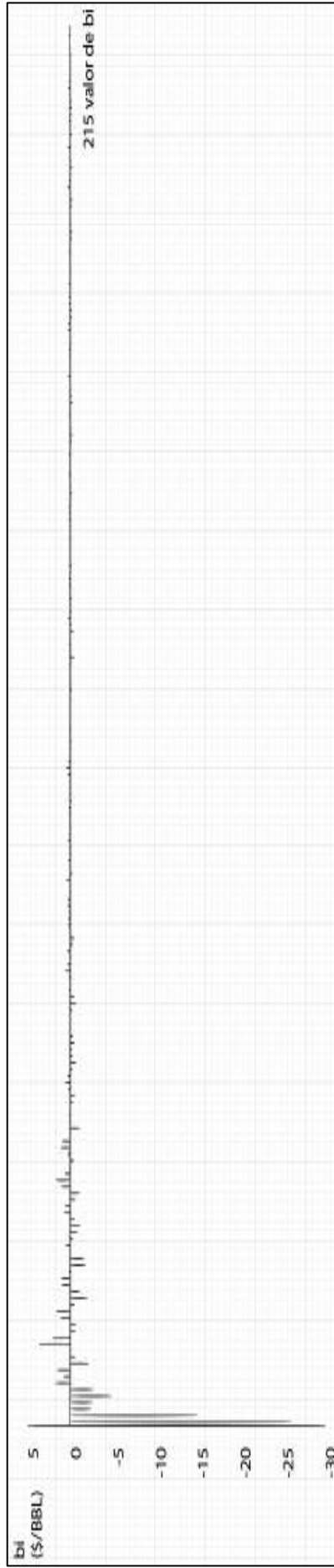


Figura 8. Parámetro  $b_i$  en función del número de muestra.  
Fuente: Cerón, B., & Lemos, C., (2016). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. Recuperado el 12 de julio del 2017.

## **ANEXO VI**

**GRÁFICO DEL PRECIO DEL BARRIL DE PETRÓLEO WTI  
VERSUS TIEMPO. DESDE EL 1 DE ENERO DE 1980 HASTA  
EL 1 DE MARZO DEL 2022.**

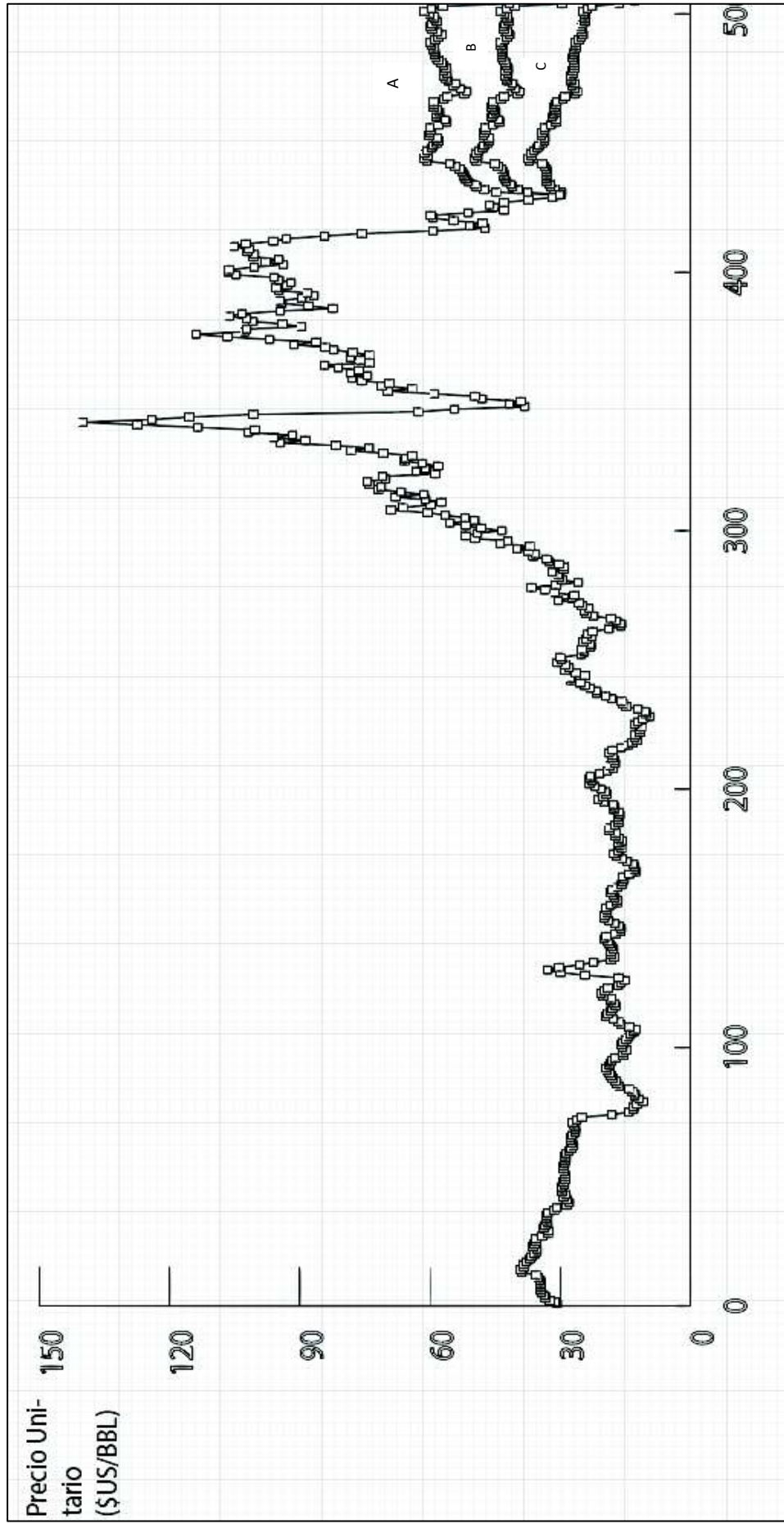


Figura 10. Gráfico del precio del barril de petróleo WTI versus tiempo. Desde el 1 de enero de 1980 hasta el 1 de marzo del 2022. Fuente: Cerón, B., & Lemos, C., (2016). Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador. Recuperado el 12 del 2016

**ANEXO VII**  
**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**Energías verdes:** Energía verde es un término que describe la energía generada a partir de fuentes de energía primaria respetuosas con el medio ambiente. Las energías verdes son energías renovables que no contaminan, es decir, cuyo modo de obtención o uso no emite subproductos que puedan incidir negativamente en el medio ambiente.

**Demanda:** La demanda se define como la total cantidad de bienes y servicios que pueden ser adquiridos en los diferentes precios del mercado por un consumidor o más (demanda total o de mercado).

**Reservas recuperables de petróleo:** Aquellos volúmenes de petróleo estimados, en una determinada fecha que son considerados actualmente como comercialmente recuperables.

**Reservas probadas de petróleo:** Son volúmenes de petróleo contenidos en los yacimientos que por análisis geológicos, ingeniería de yacimientos, análisis económicos, constatados mediante pruebas de producción pueden ser producidos comercialmente y que aplicando el método determinístico existe una alta posibilidad o si, se emplea el método probabilístico debe existir al menos un 90% de probabilidad de recuperar esos volúmenes estimados.

**Reservas probables de petróleo:** Son volúmenes estimados de petróleo que por análisis geológicos, ingeniería de yacimientos, análisis económicos, son menos ciertas que las reservas probadas y que aplicando el método probabilístico debe existir al menos un 50% de probabilidad de recuperar esos volúmenes estimados.

**Reservas posibles de petróleo:** Son aquellos volúmenes de petróleo donde los datos de información geológicos, ingeniería de yacimientos, análisis económicos, métodos de recuperación son menos ciertas que las probables, los volúmenes que bajo condiciones operacionales y económicas es de por lo menos un 10% y que también puede ser explotadas por métodos de recuperación mejorada.

**Recurso contingente:** Aquellos volúmenes de petróleo estimados, en una determinada fecha, pero que no son considerados actualmente como comercialmente recuperables debido a una o más contingencias.

**Recurso remanente:** Aquellos volúmenes de petróleo estimados, en una determinada fecha que se conservan aun en el yacimiento esperando ser extraídos.

**Reservas remanente de petróleo:** aquellos volúmenes de petróleo que se encuentran dentro del yacimiento después de una extracción ya sea primaria, secundaria o terciaria.

**Energía Nuclear:** Es la que se libera espontánea o artificialmente en las reacciones nucleares. Sin embargo, este término engloba otro significado que es el aprovechamiento de dicha energía para otros fines, tales como la obtención de energía eléctrica, energía térmica y energía mecánica a partir de reacciones atómicas, y su aplicación, bien sea con fines pacíficos o bélicos

**Biocombustibles:** Es una mezcla de sustancias orgánicas que se utiliza como combustible en los motores de combustión interna. Deriva de la biomasa, materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

**WTI:** West Texas Intermediate, es una corriente de crudo producido en Texas y el sur de Oklahoma que sirve como referencia para fijar el precio de otras corrientes de crudo

**Grados API:** *American Petroleum Institute*, es una medida de densidad que, en comparación con el agua a temperaturas iguales, precisa cuán pesado o liviano es el petróleo. Índices superiores a 10 implican que son más livianos que el agua y, por lo tanto, flotarían en ésta. La gravedad API se usa también para comparar densidades de fracciones extraídas del petróleo

**Punto no retorno:** Es aquel punto donde se produce el desequilibrio entre las reservas de petróleo y la producción del mismo, se produce una declinación del producto irreversible.

**Yacimiento:** Es una acumulación natural de hidrocarburos en el subsuelo que presenta las características suficientes para ser considerado como tal.

**Pruebas de producción:** Pruebas en un pozo de petróleo o gas para determinar su capacidad de flujo en condiciones específicas de yacimiento y presiones de flujo.

**Factor de recobro:** Es la relación entre la cantidad de petróleo recuperado (reservas) y la cantidad de petróleo encontrado originalmente en el yacimiento.

**Petróleo en sitio:** Es la cantidad de petróleo encontrada inicialmente en el yacimiento antes de su explotación.