

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias Sociales y Humanística

Cobertura de Ingresos Petroleros con Put Options en Ecuador

ADMI-970

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Nombre de la titulación

Economista

Presentado por:

Arturo Xavier Miranda Salazar

Jorge Roberto Samaniego Guerrero

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres, quienes me dieron la vida, educaron con amor, y me apoyaron en cada paso de mi camino, por compartir risas y lágrimas, y por llenar de amor y felicidad cada día de esta etapa. Esta tesis representa el esfuerzo no sólo mío, sino de todos aquellos que me acompañaron en el camino.

Declaración Expresa

Yo/Nosotros Arturo Xavier Miranda Salazar y Jorge Roberto Samaniego Guerrero acuerdo/acordamos y reconozco/reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 2 de febrero del 2024.


Arturo Xavier Miranda Salazar


Jorge Roberto Samaniego
Guerrero

Evaluadores

MSc. María Cristina Aguirre Valverde

Profesor de Materia

Phd. Gustavo Paúl Solorzano

Tutor de proyecto

MSc. Mariela Monserrat Perez Moncayo

Profesor de Materia

Resumen

El proyecto "Cobertura de Ingresos Petroleros con Put Options en Ecuador" busca evaluar la viabilidad de utilizar opciones financieras para proteger los ingresos petroleros del país ante posibles disminuciones en los precios del petróleo. El petróleo es un insumo importante para los ingresos de la economía ecuatoriana, su volatilidad tiene un impacto directo en los ingresos nacionales por lo que el uso de Put Options se plantea como una herramienta de cobertura. Este proyecto busca evaluar la efectividad de mitigación del riesgo de volatilidad de los ingresos petroleros en Ecuador mediante la utilización de Put Options. Además, el proyecto se centra en cómo este instrumento financiero puede proteger los ingresos de los países petroleros. Metodológicamente, se empleó un modelo matemático para evaluar la efectividad de las opciones financieras en diferentes escenarios de precios del petróleo, comparando los resultados con la ausencia de herramientas de cobertura. Los hallazgos sugieren que el uso de put options podría ser beneficioso para proteger los ingresos petroleros de Ecuador ante posibles caídas en los precios. Se concluye que las put options podrían haber desempeñado un papel beneficioso como instrumento de cobertura Durante la emergencia sanitaria provocada por la pandemia del coronavirus, al proporcionar una protección que suaviza la curva de precios.

Palabras Clave: Opciones financieras, Cobertura, Ingresos petroleros, Modelo Black and Scholes, Mercado petrolero

Abstract

The project "Hedging Oil Revenues with Put Options in Ecuador" seeks to evaluate the feasibility of using financial options to protect the country's oil revenues from possible decreases in oil prices. Oil is an important input for the Ecuadorian economy's income; its volatility has a direct impact on national income, so the use of Put Options is proposed as a hedging tool. This project seeks to evaluate the effectiveness of oil revenue volatility risk mitigation in Ecuador using Put Options. In addition, it focuses on how this financial instrument can safeguard the revenues of oil producing countries. The study utilized a mathematical model to assess how well financial options performed in protecting against various potential oil price outcomes, contrasting the results to a baseline scenario without any hedging instruments. The findings suggest that the use of put options could be beneficial to protect Ecuador's oil revenues in the face of possible price declines. It is concluded that put options could have played a beneficial role as a hedging instrument during the Covid-19 crisis by providing protection that smoothes the price curve.

Keywords: Financial options, Hedging, Oil revenues, Black and Scholes model, Oil market

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice general	III
Abreviaturas	V
Simbología	VI
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	VII
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	4
1.3 Justificación del Problema	5
1.4 Objetivos	5
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
1.5 Marco teórico.....	6
Capítulo 2	10
2. Metodología.....	11
2.1 Datos.....	11
2.2 Modelos	11
2.3 Modelo Black & Scholes.....	12
Capítulo 3.....	16
3. Resultados y análisis	17

3.1	Análisis Descriptivo	17
3.2	Análisis del Modelo BS.....	18
3.3	Análisis Modelo ARIMA.....	19
Capítulo 4	23
4.1	Conclusiones y recomendaciones.....	24
4.1.1	<i>Conclusiones</i>	24
4.1.2	<i>Recomendaciones</i>	25
Referencias	26

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
BS	Black and Scholes
DF	Dick-Fuller
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
ARCH	Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
EIA	U.S Energy Information Administration
WTI	West Texas Intermediate
IMF	International Monetary Fund

Simbología

K	Precio de ejercicio de la opción de compra en dólares
r	$1 +$ tasa de interés sin riesgo entre $T = 0$ y t . En otras palabras, r es el número de dólares que tendremos en t invirtiendo 1 dólar hoy en deuda sin riesgo.
σ	Volatilidad anual de la acción en tanto por uno.
S	Precio de la acción en $t = 0$ en dólares.
t	Periodo de vigencia de la opción de compra
$N(x)$	Valor de la función de probabilidad acumulada de una distribución normal estándar.

Índice de figuras

ILUSTRACIÓN 1 <i>RENDIMIENTO DEL PETRÓLEO CON RESPECTO PIB 1</i>	3
ILUSTRACIÓN 2 <i>COMPARATIVA DEL INGRESO DEL PETRÓLEO CON Y SIN OPCIONES PUT</i>	19
ILUSTRACIÓN 3 <i>PREDICCIÓN DE INGRESOS SIN OPCIÓN</i>	20
ILUSTRACIÓN 4 <i>PREDICCIÓN DE INGRESOS CON OPCIÓN</i>	21
ILUSTRACIÓN 5 <i>COMPARATIVA DE LAS PREDICCIONES DE INGRESOS CON Y SIN OPCIONES</i>	22

Índice de tablas

TABLA 1 <i>CONTRASTE DE LOS MODELOS PARA ESTIMACION DE PRECIO DE OPCIONES PUT</i>	12
TABLA 2 <i>ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LAS VARIABLES EN ESTUDIO</i>	17

Capítulo 1

1.1 Introducción

Ecuador, de acuerdo con la constitución, es un Estado Pluricultural y Multiétnico, posee gran diversidad de pueblos y grupos étnicos que lo hacen un país rico no solo en recursos naturales; el petróleo es una de las más grandes riquezas que posee el país y ha sido uno de los más significativos en términos de exportaciones. Desde que se descubrieron reservas petroleras en la amazonia, en los años sesenta, el petróleo se ha convertido una esencial en la economía ecuatoriana (PETROECUADOR,2015). Durante décadas, las exportaciones de petróleo han proporcionado una fuente constante de ingresos para el gobierno y han contribuido de manera importante al Producto Interno Bruto (PIB) del país. A pesar de lo importante que ha sido el rubro del petróleo sobre la economía ecuatoriana, la venta del crudo no es libre de preocupaciones y críticas (Cuesta & Acaro, 2020). Las fluctuaciones y variabilidad de los precios del petróleo en los mercados globales es un fenómeno bien conocido en la industria. Los precios del crudo pueden fluctuar significativamente debido a una variedad de factores, los conflictos geopolíticos, como la demanda y oferta global, los desastres naturales y las políticas de los productores de petroleo (Cuesta & Acaro, 2020).

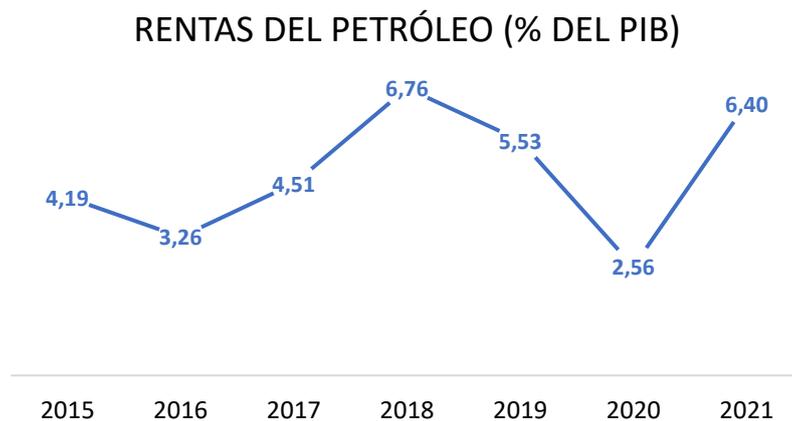
Según Velazco (2021), el país mantiene desde el 2007 un método de contrato de venta anticipada; a partir del 2017, se ha puesto en marcha una nueva política de ventas llamada "ventas spot", con el objetivo de aprovechar los precios de mercado vigentes al momento de realizar la transacción. Este tipo de venta tiene sus ventajas y desventajas, las ventas tipo spot arreglan el problema de flexibilidad que tienen las ventas anticipadas, además que se basan en precios actualizados del mercado, lo que significa que los exportadores pueden vender a precios favorables de acuerdo a la oferta y demanda del momento. Esto puede resultar en ingresos más altos cuando los precios del petróleo son favorables. No obstante, esta ventaja también lleva una gran desventaja, los precios del petróleo son altamente volátiles (Steve, 2023).

La economía mundial ha atravesado recientemente fuertes sacudidas provocadas por situaciones exógenas, como la pandemia del coronavirus, que colapsó el mercado global desplomando los precios del petróleo en el periodo del 2020.

Entonces, ¿Cómo podemos protegernos financieramente de todas las externalidades que provocan cambio súbitos y bruscos en el mercado del crudo de petróleo? Según Terán & Velasco(2021, pp.67-68) “Se demostró que en el año 2020 se dejó de percibir el importe de USD\$1,946 millones, debido a la caída abrupta en los precios del petróleo durante el 2020. Esto como consecuencia de no mantener un seguro o cobertura contra la caída de los precios del petróleo.”

Ilustración 1

Rendimiento del Petróleo con respecto PIB 1



Nota. Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Finanzas

Ciertamente, mantener un seguro es una forma eficiente de acolchonar caídas drásticas del mercado, en este proyecto se analiza el comportamiento y las ganancias del Estado Ecuatoriano si mantuviese ventas del crudo del petróleo haciendo uso de put options. La Put Option es un contrato que otorga al comprador la opción, pero no la obligación, de vender el objeto financiero principal del tipo de venta a un precio determinado durante un tiempo establecido. El precio de ejercicio es el precio al que el dueño de la opción puede vender el objeto financiero. La fecha de vencimiento es la fecha de caducidad del contrato. (E. Avila, 1998)

La cobertura de ingresos petroleros con put options es una estrategia financiera que consiste en comprar opciones de venta sobre el petróleo para salvaguardarse de posibles caídas en el mercado. Esta estrategia permite a los países productores de petróleo, como Ecuador, asegurar un nivel mínimo de ingresos por sus exportaciones, reduciendo así su exposición al riesgo cambiario y a la volatilidad de los precios.

1.2 Descripción del Problema

Ecuador es un país altamente dependiente de los ingresos petroleros ya que ha basado una parte sustancial de sus ingresos económicos en la explotación y comercialización de este bien. Para el año 2022, se estimó que los ingresos generados de la exportación del crudo de petróleo representarían aproximadamente un 26% del total del presupuesto general del estado. Es decir que más o menos una cuarta parte de los ingresos presupuestarios del país dependerían del sector petrolero (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021), esta dependencia hace que el país sea vulnerable a los cambios internacionales en los precios del petróleo (Ojeda, 2010). Esta volatilidad se da por factores geopolíticos, dinámicas especulativas de mercado y cambios en la demanda global difícilmente predecibles.

Esta incertidumbre en los precios del principal producto de exportación de Ecuador y fuente de ingresos fiscales genera graves problemas económicos. Por ejemplo, durante períodos de bajos precios petroleros el estado se ve en la obligación de recortar muy duramente el gasto público en áreas importantes como: salud, educación, infraestructura e inversión, con consecuencias sociales. Así mismo, las bajas adquisiciones en los ingresos incentivan comportamientos no muy eficientes como son: el endeudamiento público excesivo y la ampliación de brechas fiscales, las cuales deben cubrirse con más impuestos en el futuro.

Una forma de mitigar estos efectos adversos de los precios del petróleo es utilizando put options, debido a que son instrumentos que dan la opción, pero no la obligación, de comercializar el objeto financiero a un precio predeterminado antes de la fecha de expiración, incluso si la cotización del mercado cae por debajo de ese nivel (Vásquez & Benalcázar, 2021). De esta manera, el estado ecuatoriano aseguraría un precio mínimo de venta de una parte de

su producción petrolera, garantizando así un flujo estable de ingresos ante potenciales desplomes de precios. Si bien la implementación de put options tiene costos financieros no triviales, permitiría reducir la exposición fiscal y macroeconómica del Ecuador a las fluctuaciones del precio del crudo.

1.3 Justificación del Problema

La fuerte dependencia de Ecuador a los ingresos provenientes de las exportaciones petroleras, representando ingresos significativos al Presupuesto General del Estado, sumando también la volatilidad e incertidumbre de los precios internacionales del crudo, generan riesgo para la estabilidad fiscal del país ante potenciales caídas súbitas de precios, lo que generaría un impacto negativo en la economía, ya que el gobierno podría tener que reducir el gasto público o aumentar impuestos. Considerando que históricamente las fluctuaciones en los precios del petróleo son superiores al 50% en cortos periodos de tiempo (Vásquez & Benalcázar, 2021), resulta importante evaluar mecanismos de cobertura financiera que permitan mitigar este riesgo económico.

Una alternativa utilizada por otros exportadores de derivados de petróleo son las llamadas put options. Las put options funcionan como un "seguro" para el vendedor al garantizarle un precio base de venta preestablecido, independiente de la variabilidad de precios del activo, en este caso sería del petróleo (Ojeda, 2010). Mediante la adquisición de estos instrumentos, el país podría asegurarse un nivel mínimo de ingresos ante súbitas caídas ocasionales del precio del crudo, reduciendo el impacto sobre sus finanzas públicas. Si bien implican costos financieros no despreciables, evaluar la implementación de put options petroleros permitiría reducir la vulnerabilidad fiscal de Ecuador y sus efectos económicos y sociales derivados.

1.4 Objetivos

El objetivo de este proyecto integrador es verificar la efectividad del uso de put options para poder mitigar el riesgo de la volatilidad del petróleo, esta estrategia podría mitigar los

riesgos de los precios del petróleo, ya que el gobierno tiene la opción, pero no la obligación, de vender a un precio establecido, si los precios caen, el gobierno puede ejercer la opción de venta y vender el crudo a un precio que sea superior al precio de mercado pagando el precio de la opción.

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la eficacia de mitigación del riesgo de inestabilidad de los ingresos petroleros en Ecuador mediante la utilización de put options.

1.4.2 Objetivos específicos

- Examinar la variabilidad de los precios del crudo de petróleo desde el año 2016 hasta el 2023.
- Identificar los factores que conforman la volatilidad de los precios del petróleo mediante un análisis de la economía global, la oferta y la demanda petrolera, y otros factores relevantes.
- Evaluar la eficacia o viabilidad del plan de cobertura mediante la comparación de los ingresos petroleros esperados con y sin cobertura para el análisis del costo-beneficio de las put options.

1.5 Marco teórico

Muchos gobiernos están expuestos a los riesgos inherentes por volatilidades en el precio del petróleo, especialmente aquellos que dependen de los ingresos de la producción petrolera, ya que responder a grandes oscilaciones de precios es difícil y costoso. Los enfoques tradicionales, como los fondos de estabilización, tienen fallas. Los mercados de riesgo del petróleo podrían ser una solución James (2001).

El desafío asociado al riesgo por la volatilidad que enfrentan los países dependientes de la comercialización del petróleo reside en la posibilidad que los precios experimenten cambios bruscos, significativos e impredecibles. Los gobiernos enfrentan esta problemática mediante un enfoque principal: el cual es procurar nivelar internamente los precios de los productos

derivados del petróleo para atenuar las repercusiones sociales, económicas y políticas de las notables y frecuentes fluctuaciones en dichos precios. En ambas instancias, la salud fiscal del gobierno está intrínsecamente ligada al precio del petróleo. (James, 2001).

La cobertura de ingresos petroleros con put options, consiste en una estrategia financiera que permite a un país productor de petróleo asegurar un precio mínimo de venta de su producción futura, mediante la compra de put options (venta) sobre el crudo. Esta estrategia tiene como objetivo reducir la exposición al riesgo de precio del petróleo, que puede afectar negativamente a los ingresos fiscales y a la balanza de pagos del país.

La cobertura con put options según Kozikowski (2013), se diferencia de otras formas de cobertura, como los contratos a futuro o los swaps, en que no implica una obligación de entregar o recibir el activo subyacente, sino que otorga la opción, pero no la obligación de venderlo a un precio establecido (precio de ejercicio) en un tiempo específico (fecha de vencimiento). De esta manera, el dueño de la opción se beneficia si el precio del mercado cae por debajo del precio de la opción, ya que puede aplicar la opción y vender el bien a un precio superior al de mercado. En cambio, si el precio del mercado sube por encima del precio de la opción, el comprador no ejerce la opción y se queda con el bien, aprovechando el aumento de su valor. Por este derecho, el comprador paga una cantidad adicional llamada prima al vendedor de la opción, que es el costo de la cobertura

La cobertura con put options tiene varias ventajas para un país productor de petróleo, como Ecuador. En primer lugar, permite fijar un precio mínimo garantizado para una parte de su producción futura, lo que le da certidumbre sobre sus ingresos petroleros y le facilita la planificación fiscal y presupuestaria. En segundo lugar, permite participar de las alzas del precio del petróleo, ya que solo se ejercen las opciones cuando el precio del mercado es menor al precio de la opción. En tercer lugar, permite diversificar las fuentes de financiamiento, ya que se puede recurrir al mercado internacional de derivados para comprar las opciones, sin depender exclusivamente de los organismos multilaterales o bilaterales. En cuarto lugar, permite mejorar la credibilidad y la transparencia del manejo macroeconómico, ya que se

reduce la volatilidad de los ingresos petroleros y se evita el uso discrecional de los fondos provenientes del petróleo.

Diversos estudios han realizado valiosas contribuciones en torno a la evaluación de put options como mecanismos de cobertura ante fluctuaciones de los ingresos petroleros. Masahiro & Itzhak (1986) Provee soporte teórico sobre cómo la incertidumbre en precios de exportaciones clave (en este caso, petróleo) puede derivar en pérdidas de bienestar y discutiendo a favor del uso de instrumentos derivados para mitigar dichos riesgos. Fasano-Filho (2000) aportó evidencia práctica al examinar la experiencia de México con coberturas durante los años 90 Villar y Zapata (2002) enriquecieron el debate al contrastar la efectividad de las put options frente a alternativas como fondos de estabilización fiscal. Borensztein & Mauro (2004) generaron estimaciones relevantes de costos y beneficios esperados para distintos países. Jin (2011) planteó una metodología mejorada para el diseño óptimo de programas de cobertura. Finalmente, García-Verdú et al. (2016) evaluaron desempeño y desafíos de las put options petroleras en México durante 15 años. En conjunto, estos estudios entregan sólidas bases conceptuales y empíricas para evaluar implementación de put options como resguardo ante volatilidad de ingresos petroleros en Ecuador.

Una problemática existente en la literatura sobre las put options es la evaluación y definición del precio de estas. En ese sentido, Black & Scholes (1973), desarrollaron el modelo Black & Scholes (BS) para establecer el precio teórico de una opción de put (venta) sobre un activo subyacente. El modelo se basó en suposiciones sobre la distribución de rendimientos del activo subyacente, la tasa de interés libre de riesgo y el tiempo restante hasta la expiración de la opción. En la actualidad, el modelo BS es el más ampliamente usado para la valoración de opciones e importante en el desarrollo del mercado de valores por su precisión y flexibilidad. Es de destacar, el modelo también sufre de críticas por sus suposiciones muy simplistas como las que Fan & Feng (2022) encontraron, y que indican que el BS-IV tiende a sobre ajustarse al contrario de un modelo de Heston que caracteriza la volatilidad de mejor manera. De acuerdo con las expectativas de los autores, la volatilidad está relacionada únicamente con el juicio sobre la tendencia de los precios más que con el error de fijación de precios. Los precios del

modelo BS-IV son los más consistentes con los movimientos reales de los precios de las opciones, pero demuestran la mayor desviación.

De acuerdo con Manfred & Fares (2014), la valoración de las opciones europeas sigue en su mayor parte la hipótesis bien establecida de Black-Scholes con una u otra modificación. Como señala Greenberg (2016), las oscilaciones bruscas y rápidas del precio del petróleo, tanto hacia arriba como hacia abajo, pueden tener efectos enormes en las economías y geopolíticas globales. Para los países estas fluctuaciones pueden abrir un agujero en los presupuestos gubernamentales, impulsar reformas económicas integrales o alterar las prioridades geopolíticas de la noche a la mañana. La volatilidad puede ser difícil de manejar, porque no se accede a instrumentos financieros de cobertura que puedan suavizar los shocks causados por los altibajos de los precios.

Capítulo 2

2. METODOLOGÍA.

2.1 Datos

Para la simulación de los precios del petróleo mediante el uso de put options se ha considerado una base de datos mensual durante el periodo enero 2015 hasta octubre de 2023, lo que constituye un total de 106 observaciones. Para la creación de la base de datos se utilizaron diversas fuentes como el Banco central del Ecuador, el Ministerio de finanzas, Yahoo! Finanzas y U.S Energy Information Administration (EIA), obteniendo un total de 6 variables para la aplicación del modelo BS.

Luego de observar el comportamiento de las variables en la base de datos desde el periodo indicado previamente, se contempló una diferencia aguda del precio del petróleo durante los meses del año 2015. Según Vallejo-Mata et al (2019) en el año 2015, existió una caída significativa de los precios de este bien debido al fin de la llamada “Primavera Árabe”, lo que afectó en gran manera la economía. Así mismo según el IMF Annual Report (2014, 2015) este desplome de los precios del crudo del petróleo se debe al aumento de producción en los países que conforman la OPEP y la desaceleración de la demanda esperada de petróleo, lo que ocasionó un desplome de la actividad económica de países productores como lo es el Ecuador. Para los fines de este estudio, se evita cualquier información que genere sesgo en los resultados esperados, por lo que se omiten las observaciones del año 2015 y se trabaja finalmente con información del periodo 2016-2023, es decir un total de 94 observaciones.

2.2 Modelos

Para realizar el contraste es necesario calcular el precio de las opciones. Existen diversos métodos de estimación como el Modelo Black and Scholes, Modelo GARCH, ARCH, entre otros. A continuación, se detalla en la Tabla 1 los puntos fuertes y débiles de estos modelos:

Tabla 1

Contraste de los modelos para estimación de precio de opciones put

MODELO	VENTAJA	DESVENTAJA
BLACK AND SCHOLES	Debido a su sencillez de aplicar y comprender, es muy utilizada por profesiones del mercado de opciones, al brindar una estimación precisa del precio de las opciones en gran parte de los casos.	El modelo Black-Scholes se fundamenta en una serie de hipótesis, que pueden no ser precisas en todos los casos. Si el estimador de la volatilidad es inexacto, las estimaciones del precio de la opción también serán inexactas. Es un modelo de opciones europeo. No es aplicable a las opciones americanas.
GARCH (GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL HETEROSKEDASTICITY)	Los modelos GARCH tienen puntos fuertes sobre los modelos ARCH en términos de precisión de predicción, capacidad para capturar la volatilidad no constante y robustez a los valores atípicos.	La elección de los parámetros y la distribución de los datos puede afectar significativamente a las estimaciones del modelo. Los modelos GARCH son generalmente más sensibles a la especificación que los modelos ARCH por la mayor cantidad de parámetros.
ARCH (AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL HETEROSKEDASTICITY)	Capacidad para modelar la volatilidad no constante, Capacidad para modelar la dependencia entre observaciones	Los modelos ARCH son sensibles a los valores atípicos, Sensibilidad a los parámetros del modelo y Sensibilidad a la distribución de los datos

Nota. Elaboración propia

Este estudio requiere calcular los precios históricos de opciones petroleras entre 2016 y 2023 para su análisis. Aunque existen diferentes modelos para valuación de opciones, como Black-Scholes (BS), ARCH y GARCH, ninguno es perfecto porque parten de ciertos supuestos idealizados.

Sin embargo, el modelo Black-Scholes es el más adecuado para este caso por las ventajas antes mencionadas en la Tabla 1.

Por lo tanto, a pesar de sus limitaciones, el modelo Black-Scholes se seleccionó para realizar los cálculos históricos de precios de las opciones petroleras en el período de estudio. Esto permitirá obtener estimaciones confiables para el análisis comparativo buscado en la investigación.

2.3 Modelo Black & Scholes

La fórmula general de Black & Scholes para cotizar opciones que no reparten dividendos es:

Ecuación 1

$$C = S N(x) - K r^{-t} N(x - \sigma\sqrt{t}) \text{ donde } x = \frac{\ln\left(\frac{S}{K r^{-t}}\right) + \frac{\sigma\sqrt{t}}{2}}{\sigma\sqrt{t}}$$

Dado a que se ha utilizado Put Options, se puede obtener el valor y las propiedades de una opción europea a partir de las opciones análogas y haciendo uso de la formula $C = S + P - K r^{-t}$; por lo cual, la ecuación de Black y Scholes para cotizar las put options viene dada por:

Ecuación 2

$$P = K r^{-t} N(w + \sigma\sqrt{t}) - S N(w), \text{ siendo } w = \frac{\ln\left(\frac{K r^{-t}}{S}\right) - \frac{\sigma\sqrt{t}}{2}}{\sigma\sqrt{t}} = -x$$

Donde:

- K = Precio de ejercicio de la opción de compra en dólares
- $r = 1 +$ tasa de interés libre de riesgo entre $T = 0$ y t . En otras palabras, r es el número de dólares que tendremos en t invirtiendo 1 dólar hoy en deuda sin riesgo.
- σ = Volatilidad anual de la acción en tanto por uno.
- S = Precio de la acción en $t = 0$ en dólares.
- t = Periodo de vigencia de la opción de compra
- $N(x)$ = Valor de la función de probabilidad acumulada de una distribución normal estándar.

Posterior a la implementación de la Formula BS, se obtuvieron los valores teóricos de las opciones para los años de estudio, con la finalidad de comparar los diferentes resultados financieros que hubiese tenido el Ecuador al utilizar put options para la venta del crudo del petróleo, se contrasta estos resultados proyectados con los reales; para esto implementamos dos cálculos para estimar de forma sencilla los ingresos mensuales con opciones y sin opciones, expresados en millones de dólares. Para el cálculo de los ingresos sin opciones se utilizó: el precio Spot WTI del crudo de petróleo, el supuesto de que el Ecuador produce 800,000.00 barriles de petróleo al año, dividiendo la cantidad anual de producción por los doce meses del año para luego dividirlo en un millón de barriles permitiéndonos dejar expresado la

cantidad de producción volumétrica en un millón de barriles de petróleo al mes. Lo que permitió estimar el ingreso neto en millones de dólares a las arcas del Ecuador utilizando los precios del mercado.

Posterior se calculó los ingresos que hubiera tenido el Ecuador al implementar put options en la venta del crudo. Dicho calculo se lo obtuvo utilizando las variables: precio presupuestado(strike), el precio Spot WTI del crudo de petróleo(k), la tasa de interés(r), el tiempo de expiración(t), el supuesto valor volumétrico mensual expresado en un millón de barriles de petróleo y el valor monetario en el mes de estudio; el cual se lo obtuvo multiplicando el valor teórico de la opción europea y el supuesto valor volumétrico mensual expresado en un millón de barriles de petróleo, así calculando el ingreso neto en millones de dólares del Ecuador utilizando las Put Options.

Se realizo un análisis comparativo del resultado de los ingresos con y sin opciones para determinar la efectividad del uso de put options durante el tiempo de estudio.

Para complementar nuestro análisis inicial sobre la efectividad del uso de opciones de venta. Se proyectó un escenario futuro al año 2025, mediante la implementación de modelos predictivos ARIMA.

Los modelos ARIMA son, según Brockwell & Davis (1991), modelos estadísticos que describen la evolución temporal de una serie de datos. Los modelos ARIMA se basan en la premisa de que los valores actuales de una serie de datos se pueden predecir utilizando los valores anteriores de la misma serie. Es decir, son modelos univariados que utilizan su propia historia para las estimaciones de valores futuros, así como los errores aleatorios que se han producido. Se componen de tres partes:

- Autorregresivo: representa la influencia de los valores anteriores de la serie de datos en el valor actual.
- Integrado: representa la tendencia de la serie de datos a crecer o decrecer a lo largo del tiempo.
- Media móvil: representa la influencia de los errores aleatorios en el valor actual.

Los modelos estimados son los siguientes:

Para los precios con opciones:

Ecuación 3

$$\Delta Y_t = \beta_0 + trend2 + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 \varepsilon_{t-12} + \varepsilon_t$$

Para los precios con opciones:

Ecuación 4

$$\Delta Y_t = \beta_0 + trend2 + \beta_1 Y_{t-5} + \beta_2 \varepsilon_{t-6} + \varepsilon_t$$

En donde:

Y_t representa el precio sin opciones

Y_{t-1} es el precio sin opciones rezagado un periodo

Y_{t-5} es el precio sin opciones rezagado cinco periodos

trend2 es la tendencia cuadrática

ε_t es el error del modelo

ε_{t-6} es el error del modelo rezagado un semestre

ε_{t-12} es el error del modelo rezagado un año

CAPÍTULO 3

3. Resultados y análisis

3.1 Análisis Descriptivo

Para el periodo de análisis de este estudio (2016-2023), se obtuvo un total de 94 observaciones para cada una de las variables en análisis las cuales se describen en la Tabla 2

Tabla 2

Estadísticas descriptivas de las variables en estudio

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación
strike	50,17	35,00	64,84	9,67
Precio de ejercicio	58,35	31,68	83,22	15,27
Tasa de interés	1,45	0,01	5,57	1,58
volatilidad	0,39	0,23	0,61	0,10
Precio de la opción	2,05	0	11,27	3,37
sinop	150,08	40,27	279,44	46,26
conop	149,72	75,28	279,43	42,77

Nota. Elaboración Propia. Las variables sinop y conop están expresadas en millones USD

Durante el período de estudio como se observa en la Tabla 2, el precio de ejercicio de la opción (k) oscila entre \$31.68 y \$83.22, exhibiendo una desviación estándar moderada de 15.27%, con un promedio se mantiene en \$58.35. En cuanto a la tasa de interés (r), se registra un promedio de 1.45%, con un máximo de 5.57% y una desviación estándar relativamente baja de 1.58%. El strike (s) varía entre \$35 y \$64.84, con una desviación estándar de \$9.67 y un promedio de \$50.17. Por su parte, la volatilidad (v) fluctúa entre 0.23% y 0.61%, siendo la variable con la desviación estándar más reducida (0.10%) y un promedio de 0.29%. Respecto al precio de la opción (p), el mínimo valor que alcanza es de 0 esto se da debido a diferentes razones entre las que se puede resaltar es que el precio Strike puede oscilando por encima o por debajo del precio de mercado, pero su máximo alcanza los \$11.27, con una desviación de \$3.37 y un promedio de \$2.05.

3.2 Análisis del Modelo BS

De acuerdo con la Tabla 2 se puede notar que; los ingresos petroleros con y sin put options en promedio obtuvieron valores similares \$149.72 vs \$150.08 millones de dólares. Sin embargo, la dispersión de los ingresos es menor al utilizar las put options con una desviación estándar de 42.77 puntos porcentuales. por lo tanto, el uso de las opciones reduce el riesgo y provee mayor estabilidad en los ingresos petroleros, la menor dispersión sugiere que estas ayudan a mitigar escenarios de precios extremadamente bajos, dada la volatilidad histórica del petróleo se nota que las put options pueden ser una estrategia de cobertura útil para el Ecuador.

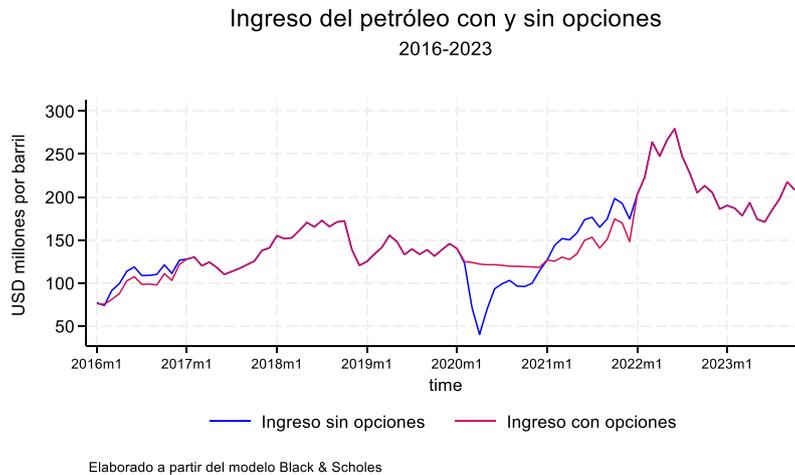
Durante periodos en lo que existe cierta estabilidad en los ingresos petroleros, las ganancias sin las put options fueron más altas que cuando se ejerce la opción. Sin embargo, cuando tomamos en cuenta el total de la serie de tiempo se evidencia que en promedio la diferencia de ingresos con y sin opciones es marginal. Es cuando existe una caída drástica en los ingresos petroleros que se denota la importancia de mantener la cobertura que las put options otorgan.

En la Ilustración 2 se comparan los ingresos para el estado ecuatoriano de la venta del crudo del petróleo con y sin opciones, en el año 2020-2021 es donde las put option pudieron haber suavizado la caída abrupta del precio del crudo de petróleo en los mercados globales debido a la pandemia del covid-19, además, se observa que las ganancias debido a la utilización de las put options estarían en aproximadamente \$1,223.73 millones de dólares.

Gracias a las put options, esa fuerte caída de precios se podría haber mitigado. Esto demuestra que las put options ayudan a proteger contra abruptas caídas en los precios del petróleo.

Ilustración 2

Comparativa del Ingreso del petróleo con y sin opciones put



Nota. Elaboración propia

3.3 Análisis Modelo ARIMA

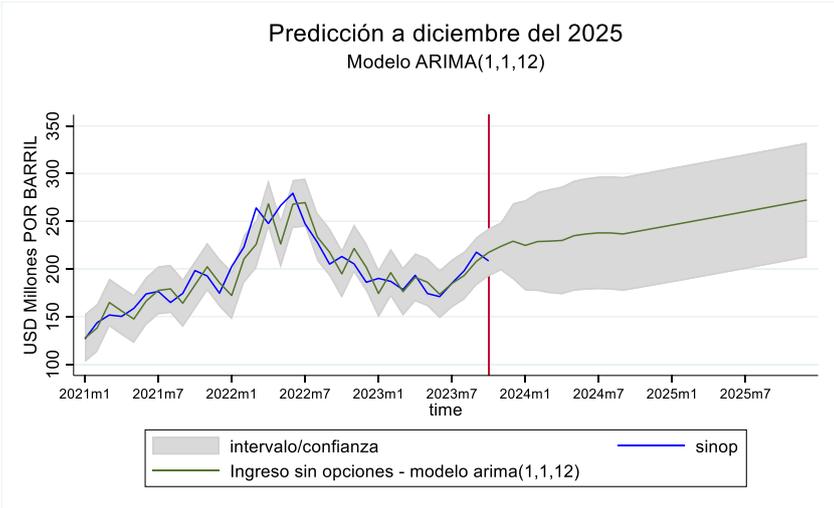
Para la construcción de los modelos ARIMA utilizados en este estudio, se realizaron las comprobaciones de los supuestos que tiene el modelo, una de las pruebas realizadas fue la de raíz unitaria o Dick-Fuller, que tiene como hipótesis nula que la serie tiene raíz unitaria en la cual los resultados nos informan que, es imposible rechazar la hipótesis nula confirmando que en efecto las series poseen una raíz unitaria o siguen un proceso de caminata aleatoria, por lo que es necesario integrarla o diferenciarla para poder trabajarla de forma correcta. En la prueba de Dick-Fuller aumentado concluimos que, todas nuestras variables son integradas de orden 1 a excepción de la variable (r) la cual es integrada de orden 2. A su vez en la prueba de white noise en donde la hipótesis nula es que se distribuya como ruido blanco, se pudo obtener que a nivel ninguna de las variables se distribuye como un ruido blanco, por lo que le da mayor validez la prueba de DF. Como último punto se realizaron diversas pruebas con diversos modelos y se utilizó el criterio de parsimonia y el criterio AKAIKE para la elección del mejor modelo predictivo ARIMA.

En el modelo de predicción ARIMA (1,1,12) hasta diciembre del 2025 que se observa en la Ilustración 3, predice un rango de ingreso entre \$100 y \$350 millones de dólares por volumen

barril durante ese período. Específicamente, se proyecta que el ingreso se mantendrá relativamente estable en un promedio de \$250 millones de dólares por volumen de barril a lo largo del horizonte de predicción, esto debido a la recuperación en los mercados petroleros del mundo, con algunas fluctuaciones dentro de la banda de confianza del 95%. Esto sugiere que, según este modelo estadístico, no se esperan cambios significativos en los ingresos del petróleo en el mediano plazo, con una tendencia a permanecer en los niveles actuales de alrededor de \$250 millones dólares por volumen de barril. A su vez brinda un panorama base sobre el posible comportamiento futuro del ingreso del crudo, que puede ser útil para la planificación fiscal y económica del país.

Ilustración 3

Predicción de Ingresos sin Opción



Nota. Elaboración Propia

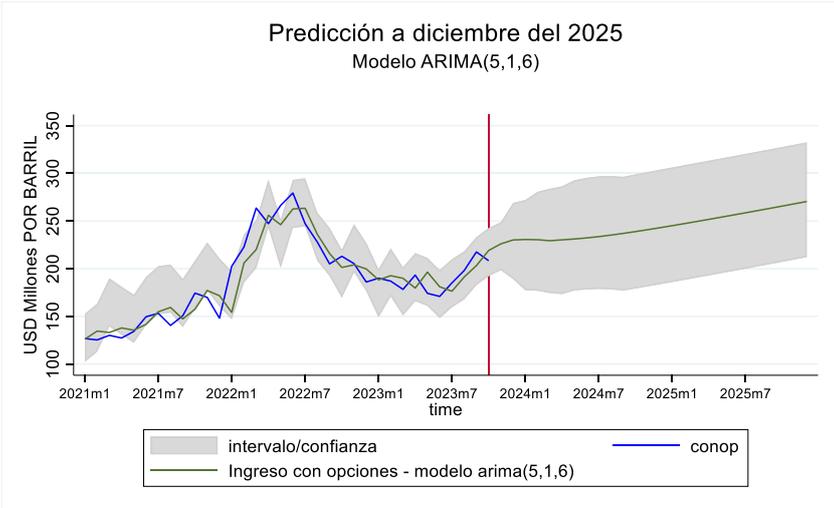
En este segundo modelo ARIMA (5,1,6) como se muestra en la Ilustración 4 muestra que el ingreso promedio esperado se mantendría relativamente estable, alrededor de los \$225

millones de dólares por volumen de barril, con una banda de confianza relativamente estrecha entre aproximadamente \$175 y \$300 millones de dólares por volumen de barril. Esto sugiere que al incorporar opciones put como mecanismo de cobertura, se espera una menor volatilidad en los precios en comparación con las proyecciones sin opciones.

El análisis predice menores fluctuaciones y un ingreso promedio levemente inferior al incorporar put options para el petróleo ecuatoriano. Estas opciones ayudarían a suavizar y acotar las variaciones esperadas en los ingresos, brindando mayor certidumbre al futuro del país, para lo cual, se tendría que comparar las dos ilustraciones para tener una mejor conclusión de la situación.

Ilustración 4

Predicción de ingresos con opción



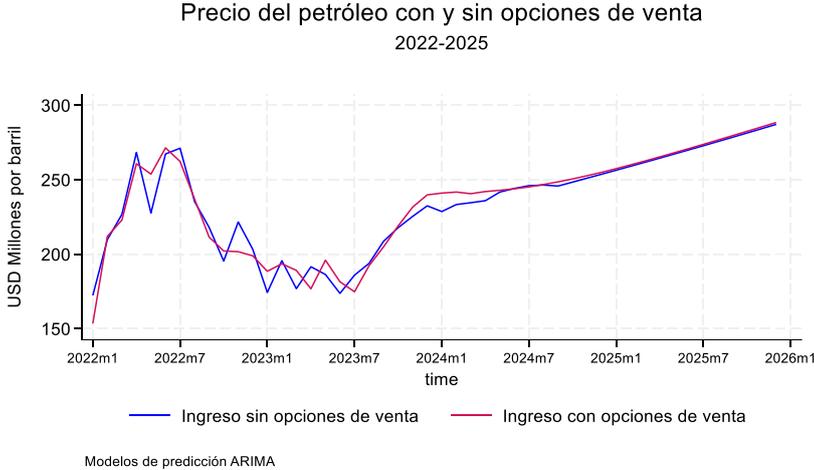
Nota. Elaboración propia

Al hacer una comparación de los dos modelos antes descritos se observa en la Ilustración 5 que el ingreso del petróleo con put options es generalmente más alto que el ingreso sin estas opciones. Si bien en promedio la diferencia entre ambas no es tan significativa, esto no quiere decir que el uso de esta protección financiera fuera una opción no viable. Ya que gracias a que la put option nos protegería de la volatilidad del mercado petrolero, expectativas económicas y de precios futuros. Cabe recalcar que estas predicciones están basadas en el supuesto de que no exista algún shock exógeno en el mercado, el cual

haga que exista fuertes volatilidades. Por lo cual es conveniente siempre estar protegido con este tipo de opciones ya que representan un ínfimo gasto a comparación de perdidas antes vistas sin la utilización de este seguro financiero.

Ilustración 5

Comparativa de las predicciones de ingresos con y sin opciones



Nota. Elaboración Propia

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

La evaluación de eficacia y viabilidad del plan de cobertura mediante Put options, comparando los ingresos petroleros con y sin cobertura, destaca la importancia de implementar estrategias de protección financiera. Este análisis costo-beneficio proporciona una comprensión clara de cómo las Put options pueden reducir riesgos y aumentar la estabilidad de los ingresos, respaldando decisiones informadas en el ámbito financiero de la industria petrolera.

El mercado, caracterizado por su volatilidad, subraya la importancia del seguro como la diferencia entre una crisis monetaria y el bienestar económico. Los pronósticos indican una tendencia al alza en los ingresos de petróleo con y sin opciones a partir de 2024. Sin embargo, el uso de put options podría ofrecer un margen de ganancias superior durante este período, en caso de que exista otro ejemplo de crisis en el cual las put options nos protegerían.

En retrospectiva, las put options podrían haber desempeñado un papel beneficioso como instrumento de cobertura durante el estallido de la pandemia del Covid-19, al proporcionar una protección que suaviza la curva de ingreso. Este hallazgo respalda la consideración de estrategias de mitigación de riesgos, como el uso de opciones financieras, en entornos económicos volátiles. En resumen, la aplicación reflexiva de estrategias de cobertura, respaldada por un análisis detallado, emerge como un componente esencial para la estabilidad financiera en la industria petrolera.

El empleo de opciones de venta no siempre resulta en un beneficio superior al precio de mercado, como se evidenció en los resultados; los ingresos pueden superar o igualar el valor de los ingresos con opción. No obstante, esto no implica que el uso de opciones de venta carezca de justificación, ya que la imprevisibilidad de catástrofes y eventos futuros que impactan de manera drástica en los ingresos sugiere que la utilización de seguros en forma de opciones de venta es esencial. Este enfoque contribuye a una mejor organización financiera, facilita proyecciones más precisas y, en última instancia, tener la tranquilidad de que en casos de emergencia, el Ecuador está resguardado contra dichos fenómenos.

4.1.2 Recomendaciones

La gestión efectiva de los ingresos petroleros en Ecuador, dada su alta dependencia de esta fuente, requiere una estrategia robusta y adaptativa. En base a los análisis detallados de volatilidad, precios del petróleo, estrategias de mitigación de riesgos y pronósticos, se derivan varias recomendaciones entre las que tenemos una buena toma de decisiones y protección contra la volatilidad del mercado.

En primer lugar, es fundamental implementar un enfoque diversificado en la gestión de ingresos. La dependencia exclusiva de los ingresos petroleros aumenta la vulnerabilidad a las fluctuaciones del mercado. Diversificar la economía y explorar fuentes alternativas de ingresos proporcionaría una red de seguridad frente a fluctuaciones en los precios del petróleo.

Aplicando estrategias de cobertura, especialmente el uso de put options, se revela como una herramienta valiosa. La flexibilidad inherente de las opciones permite adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado. No obstante, es crucial llevar a cabo una evaluación continua de las condiciones del mercado y ajustar las estrategias de cobertura en consecuencia.

La sensibilidad a eventos excepcionales, como la pandemia de COVID-19, resalta la importancia de anticipar y prepararse para eventos inesperados. La estrategia de implementar put options durante períodos específicos de incertidumbre sugiere la importancia de la agilidad en la toma de decisiones.

Además, se recomienda un enfoque proactivo sobre la gestión de riesgos. El análisis de las tendencias futuras e identificación de oportunidades para implementar estrategias de mitigación antes de que se materialicen los riesgos son esenciales. La colaboración con expertos en finanzas y economía, así como la actualización constante de los análisis, contribuirán a una toma de decisiones más informada.

REFERENCIAS

- Baunsgaard, T. &. (2009). Automatic fiscal. *IMF Staff Position*, 9-23.
- Borensztein , E., & Mauro, P. (1 de April de 2014). The case for GDP-indexed bonds. *Economic Policy*, 166-216. Obtenido de <https://doi.org/10.1111/j.1468-0327.2004.00121.x>
- Brockwell , P. J., & Davis, R. A. (1991). *Time series: theory and methods*. Springer Science and Business Media.
- Cuesta, G., & Acaro, B. (2020). PRECIO DEL PETRÓLEO PRODUCTO INTERNO BRUTO MODELO ECONÓMICO EXPORTADOR. *Universidad de ambto*, 1-4. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30999>
- Fasano-Filho, U. (2000). Review of the Experience with Oil Stabilization and Savings Funds in Selected Countries. *International Monetary Fund*, 20. Obtenido de <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/30/Review-of-the-Experience-with-Oil-Stabilization-and-Savings-Funds-in-Selected-Countries-3648>
- García-Verdú, R., Kumaresan, N., Uribe-Etxebarria, J., & Yusta, Í. (16 de Febrero de 2016). *Coberturas petroleras en México: Lecciones y perspectivas (Documentos de Trabajo No. 2016-16)*. Obtenido de Banco de Mexico : <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/documentos-de-investigacion/banxico/%7BB9327FB4-0E29-FA0C-A31B-84064D3942E0%7D.pdf>
- Greenberg, M. R. (2016). Oil Price Volatility: Causes, Effects, and Policy Implications. *JSTOR*, 6. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/resrep16761>
- Hidrowoh, J., & Cárdenas, D. (2013). Cobertura de riesgos de precios del petróleo ecuatoriano, a través de opciones de futuros. *Doctoral dissertation*, 20.
- James, D. (Noviembre de 2001). Cobertura del riesgo de los precios públicos del petroleo. *Fondo Monetario Internacional*, 32. Recuperado el 13/11/2023
- Jin, X. (2011). An equivalent put option model for optimal hedging strategy over multiple periods. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 65-77.
- Manfrd, D., & Fares, S. (2014). Richter's local limit theorem and Black-Scholes type formulas. *sciencedirect*, 92, 241-248. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spl.2014.06.003>.

- Manfred, G. K., & Fares, A. I. (2014). Price Insurance Through Financial Instruments: An Analysis of Mexico's Oil Price Hedging Program. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 38-47.
- Masahiro, K., & Itzhak, Z. (1986). International trade with forward-futures markets under exchange rate and price uncertainty. *International Economics*, 83-98. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022199686900620>
- Ojeda, M. (2010). El régimen de contratación y la renta petrolera en Ecuador durante el período del 1998-2008. *Flacso*, 19.
- Pérez, C., & Titleman, D. (2021). La urgencia de avanzar hacia la diversificación productiva en Ecuador. *CEPAL*.
- PETROECUADOR, E. (2015). *El Petróleo en el Ecuador: La nueva Era*. Quito: Manthra Comunicacion integral y Producción editorial. Obtenido de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/El-Petr%C3%B3leo-en-el-Ecuador-La-Nueva-Era.pdf>
- Report(2014-2015), I. A. (2015). *International Monetary Fund*. Obtenido de International Monetary Fund : https://www.imf.org/external/pubs/ft/ar/2015/eng/pdf/ar15_eng.pdf
- Steve, M. (8 de Febrero de 2023). *¿Qué es el trading spot? Ejemplos, ventajas y desventajas*. España: Hantec Markets. Obtenido de <https://hmarkets.com/es/que-es-el-trading-spot/>
- Terán, M., & Velasco, A. (2021). *Diseño de un escenario de cobertura contra el riesgo de cambio del precio del petróleo en el Ecuador. Escenarios de costos y posibles retornos bajo precios esperados*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53482>
- Vallejo-Mata, S., Macías, J. A., & Mirasol-Meléndez, R. (2019). The derivative-based strategies used by Mexican state-owned oil company Pemex for oil price risk management. *Revista Científica General José María Córdova*, 27-44.
- Vásquez, S., & Benalcázar, J. C. (2021). Risk Management instruments for oil price fluctuations: An analysis for Ecuador. *Energy Reports*, 563-576.
- Villar, L., & Zapata, H. (2002). Adopting derivative instruments to cope with petroleum price risk: The case of Colombia. *International Review for Environmental Strategies*, 67-91.

