



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales  
Grado de Business Analytics

Trabajo Fin de Grado

Forecasting oil price

Estudiante: Lucas Guillén Ripa

Director: Isabel Catalina Figuerola Ferretti

Madrid, 17 de junio de 2025

## Índice

Capítulo 1: Introducción.....	3
1.1 Contexto general del precio del petróleo en los mercados internacionales.....	3
1.2 Importancia económica y geopolítica del petróleo crudo.....	4
1.3. Justificación de la necesidad de un modelo predictivo en mercados energéticos...6	
1.4. Alcance y limitaciones del trabajo.....	7
Capítulo 2 : Justificación del tema.....	9
2.1. Relevancia del análisis del precio del petróleo en un contexto global.....	9
2.2. Impacto de la volatilidad del crudo en economías y mercados financieros.....	10
2.3. Relación entre eventos geopolíticos y variaciones de precios.....	12
Capítulo 3: Estado de la cuestión.....	15
3.1. Estudios previos sobre predicción de precios del petróleo.....	15
3.2. Modelos de predicción de precios del petróleo.....	16
3.3. Gaps identificados en la literatura y motivación para este trabajo.....	17
Capítulo 4: Metodología.....	19
4.1. Fuentes de datos.....	19
4.2. Preparación y limpieza de datos.....	20
4.3. Modelos estadísticos utilizados para el análisis de varianza histórica.....	21
4.4. Incorporación de variables geopolíticas en el modelo.....	21
4.5. Algoritmos de predicción aplicados.....	22
4.6 Evaluación de la precisión y validación del modelo.....	23
Capítulo 5: Análisis y discusión.....	24
5.1. Resultados del análisis de varianza histórica.....	24
5.2. Impacto de los factores geopolíticos en el precio del crudo.....	25
5.3. Comparación entre predicciones del modelo y datos reales.....	26
5.4 Fortalezas y limitaciones del enfoque utilizado.....	27

Capítulo 6: Conclusión y líneas futuras.....	28
6.1. Resumen de hallazgos clave.....	28
6.2. Implicaciones del modelo predictivo en el ámbito económico y energético.....	28
6.3. Limitaciones del trabajo y posibles mejoras.....	29
6.4. Propuestas para investigaciones futuras.....	30
Capítulo 7: Referencias.....	31
7.1 Bibliografía.....	31
7.2 Fuentes de datos.....	32
7.3 Declaración uso de IA.....	
Capítulo 8: Anexos.....	34
8.1 Tablas y gráficos adicionales.....	36
8.2 Código del modelo predictivo.....	39
8.3 Descripción técnica de las variables y fuentes de datos.....	44

## **1. Introducción**

### 1.1. Contexto general del precio del petróleo en los mercados internacionales.

El petróleo crudo es uno de los recursos más importantes a nivel mundial, este es clave para entender la geopolítica actual, el devenir de los mercados así como el posible desarrollo o acuerdos entre países. La relevancia del mismo radica en su uso en distintas áreas, claves para el negocio, como puede ser el transporte, la generación eléctrica o la industria.

Por otro lado, es importante destacar que el precio del petróleo instaurado por un país nos puede indicar el desarrollo y estabilidad de dicho estado, de tal forma que es un indicador muy importante a la hora de analizar una nación. Para poder fijar un precio, será clave tener en cuenta una serie de factores que rodearán al país para así poder tener un precio estable sobre el mismo. Es por eso que será un factor muy importante para determinar si el país está en vías de desarrollo, expansión, recesión, o simplemente realizar una inversión sobre un activo que se encuentra en el interior del estado.

En la actualidad, el petróleo crudo sigue siendo un actor principal a la hora de entender la economía global, este continúa teniendo una importancia y un peso enorme en el mundo que conocemos. Ya que, pese a todos los esfuerzos que se están haciendo para desarrollar las energías renovables y que seamos capaces de ser totalmente autosuficientes solo con este tipo de energías, seguimos siendo dependientes de esta fuente de energía, por lo que la hace un actor clave en la economía mundial.<sup>1</sup>

Debido a esa dependencia, el país exportador de petróleo puede llegar a adquirir una importancia y una influencia en el mundo actual muy grande, como ocurre en los países del golfo arábico, como Arabia Saudí, por ejemplo. Una nación construida en base a las reservas de petróleo que se encuentran en su territorio. Sola y únicamente por tener esas reservas de petróleo en su territorio se convierten en uno de los principales “players” de la economía mundial.

---

<sup>1</sup> Kilian, L. (2008). The economic effects of energy price shocks. *Journal of Economic Literature*, 46(4), 871-909.

Cabe resaltar que pese a los esfuerzos y la complejidad que conlleva fijar un precio para el “oro negro”, este muchas veces es más volátil de lo que se espera y con consecuencias desastrosas en momentos de crisis mundiales, como puede ser la crisis del petróleo en la década de 1970, la caída de precios en 2014 - 2016, o por último la pandemia del Covid-19 en 2020. En todas estas crisis, el precio del petróleo se ha caído, por lo que está sujeto a grandes cambios en la economía mundial. Por otro lado, tendrá un efecto positivo en la economía y precio de activos en los países exportadores de petróleo, como pueden ser los ya nombrados países del Golfo Pérsico, los cuáles por el simple hecho de tener reservas de petróleo, son capaces de impulsar su economía a todos los niveles, obteniendo de esa forma un mayor desarrollo nacional y una subida de precios importante.

## 1.2. Importancia económica y geopolítica del petróleo crudo.

Tal y como ha sido mencionado anteriormente, el petróleo crudo es un actor clave para entender la geopolítica actual debido a la importancia económica de este y su posible influencia en distintos sectores. La importancia del mismo se puede explicar a través de cuatro factores: El petróleo como motor de la economía mundial, Impacto en los mercados financieros internacionales, Geopolítica del petróleo y por último y no menos importante la sostenibilidad económica que este puede llegar a tener.

El petróleo crudo, ha sido y es uno de los principales motores en la economía global debido a la dependencia del mismo y actividades clave en el sector empresarial como pueden ser actividades industriales, la producción de bienes esenciales o incluso el transporte internacional. Este representa aproximadamente un tercio de la energía mundial utilizada, otro dato clave a resaltar para entender la importancia del mismo es que la industria petrolera genera alrededor del 2.5% del Producto Interior Bruto (PIB) global, subrayando así su importancia en la economía mundial.

En lo que se refiere a la dependencia en actividades clave, es debido a su papel dominante en sectores estratégicos como el transporte, la industria manufacturera o la generación eléctrica. A día de hoy, y pese a todos los esfuerzos que se están llevando a cabo por parte de grandes empresas o países para seguir desarrollando las energías renovables, el petróleo crudo sigue siendo un actor clave. No sería posible entender el mercado actual en estos ámbitos sin el uso del petróleo. También es un componente clave en productos derivados, como pueden ser el caso de productos químicos, fertilizantes, la producción de plásticos u otros bienes esenciales. Cabe destacar ejemplos en los que el uso del petróleo es esencial y sin el mismo no entenderíamos el funcionamiento de muchas cosas, como puede ser el caso de la gasolina, diésel, queroseno...<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Baumeister, C., & Kilian, L. (2016). Forty years of oil price fluctuations: Why the price of oil may still surprise us. *Journal of Economic Perspectives*, 30(1), 139-160.

En segundo lugar, será clave analizar el posible impacto que este puede llegar a ocasionar en los mercados financieros. Uno de los grandes retos que tiene por la delante el petróleo crudo y su precio es regular la volatilidad que tiene el mismo frente a cambios geopolíticos a niveles internacionales, ya que estas fluctuaciones afectan directamente a la inflación, crecimiento económico y políticas monetarias de diferentes países como pueden ser los casos de Arabia Saudita, Rusia, Venezuela, India o Japón. Ya sea porque su economía depende mayoritariamente del volumen de petróleo exportado o importado.

Al analizar el posible impacto en distintos mercados financieros, obtendrán gran importancia los activos financieros que tengan alguna relación con el petróleo como pueden ser los contratos de futuros y derivados como instrumentos clave en los mercados de materias primas. Un claro ejemplo sería una cobertura frente a la volatilidad de precios mencionada anteriormente (Empresas como Delta Airlines especializadas en esto) o la gestión del riesgo financiero que conlleva la volatilidad en el precio (Empresas como ExxonMobil emplean contratos de futuros para asegurar un precio mínimo de venta, de tal forma que son capaces de mitigar el riesgo de un precio de venta a futuro). En lo que se refiere a analizar el posible impacto en activos financieros a nivel global será muy valioso calcular la correlación que existe entre el precio del petróleo y otros activos como por ejemplo monedas (Dólar Estadounidense o la Rupia India) o acciones de sectores estratégicos.

En tercer lugar y no menos importante, habrá que tener en cuenta la geopolítica del propio petróleo y la actualidad que rodea a países en los que un gran porcentaje de su PIB gira en torno al “aceite negro”, tanto naciones exportadoras como importadoras. Los primeros tendrán una grandísima dependencia a nivel ingresos en el mismo y la mayoría de sus relaciones internacionales establecidas están basadas en ello, como bien pueden ser los países del golfo pérsico o Rusia. Por otro lado, y en lo que se refiere a los países importadores, estos se encuentran frente a una dependencia energética y un desafío estratégico constante para que el suministro sea estable. Dentro de la geopolítica del petróleo no podemos pasar por alto todas las consecuencias que este puede llegar a tener como puede ser el caso de conflictos bélicos o tensiones geopolíticas, para obtener control del recursos ocasionando guerras en Ucrania y Oriente Medio).<sup>3</sup>

Para cerrar el análisis, resulta fundamental señalar que la sostenibilidad económica jugará un papel esencial a la hora de completar una investigación exhaustiva. Esta tendrá un efecto multiplicador en economías dependientes, cuyos crecimiento tiene una relación directa con la exportaciones que se lleguen a dar en petróleo y su posible impacto en economías locales y globales cuando el precio de este caiga o este al alza.

---

<sup>3</sup> Kilian, L., & Murphy, D. P. (2014). The role of inventories and speculative trading in the global market for crude oil. *Journal of Applied Econometrics*, 29(3), 454-478.

Todo lo expuesto anteriormente define claramente que el petróleo no es simplemente recurso más con el que las naciones o estados se intentan enriquecer, si no que se ha convertido en una herramienta o factor clave a nivel estratégico en lo que se refiere a relaciones internacionales, estabilidad global o incluso desarrollo de mercados financieros.

### 1.3. Justificación de la necesidad de un modelo predictivo en mercados energéticos.

La creciente volatilidad de los mercados energéticos, influenciada por factores económicos, geopolíticos y ambientales, ha generado la necesidad imperiosa de herramientas avanzadas que permitan anticipar con precisión las fluctuaciones en el precio del petróleo, un recurso fundamental para la estabilidad de las economías globales y la planificación estratégica de industrias clave. Para ser capaces de anticiparnos a futuros cambios será clave desarrollar un modelo predictivo en mercados estratégicos, gracias al mismo seremos capaces de predecir futuros cambios en mercados energéticos con alta volatilidad y optimizar la toma de decisiones entre otras muchas cosas.

La volatilidad de los mercados energéticos representa un desafío constante para la estabilidad económica global, como he mencionado anteriormente, los precios del petróleo son realmente volátiles y sensibles a factores medioambientales, geopolíticos o económicos. Como ejemplos del pasado tenemos: La crisis del petróleo en 1973, los cambios drásticos en los precios en 2020 debido a la pandemia del Covid-19 o por último y no con menor impacto, la guerra Ruso-Ucraniana. Gracias a un modelo predictivo seremos capaces de anticiparnos a las posibles variaciones y así reducir la incertidumbre y caos en los distintos mercados internacionales.<sup>4</sup>

En segundo lugar, la importancia estratégica del petróleo radica en su impacto directo en las economías globales y en la planificación de políticas energéticas, es por ello que un modelo predictivo será clave y realmente útil para todas las economías. En los presupuestos de los gobiernos actuales, una parte importante de dinero irá directamente destinado a hacer frente a exportaciones o importaciones de petróleo. Por lo que será necesario para estos tener estimaciones precisas para así planificar de forma correcta presupuestos o estrategias comerciales, por otro lado aparecen las empresas privadas, muchas de ellas depende del petróleo para su producción, por lo que para estas será crucial determinar el precio del mismo con anterioridad. Estas pueden ser empresas de sectores muy diferentes como puede ser el caso de transportes, generación de electricidad o incluso empresas manufactureras.

---

<sup>4</sup> Maitra, D. (2023). Geopolitical risks, uncertainty and forecasting crude oil prices: A hybrid machine learning approach. *Energy Economics*, 118, 106464.

Por último, la capacidad de predecir los precios del petróleo es esencial para optimizar la toma de decisiones en sectores clave y reducir riesgos financieros. Las empresas o gobiernos mencionados anteriormente serán capaces de asumir un número menor en lo que a costes se refiere gracias al modelo predictivo. De esta forma optimizarán recursos, gestión de activos, maximización de beneficios... Así tendrán la posibilidad de ahorrar capital a la hora de la producción o gestión y al mismo tiempo llegarán a maximizar beneficios ya que con la herramienta destinarán sus recursos e inversiones a los lugares correctos. Acabando con un ejemplo: Previsión en los precios para decidir cuál será la capacidad de almacenaje y cuánto se va a llegar a almacenar, vender o comprar petróleo, de tal forma que no tenga ningún tipo de excedente.

#### 1.4. Alcance y limitaciones del trabajo.

El presente trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un modelo predictivo que permita anticipar de manera precisa la evolución del precio del petróleo, proporcionando así una herramienta valiosa para la toma de decisiones estratégicas en los mercados energéticos y financieros. Este modelo busca ir más allá de los enfoques tradicionales al incorporar una amplia gama de factores, tanto políticos como económicos, que incluyen eventos geopolíticos como guerras, sanciones internacionales y conflictos regionales, así como variables macroeconómicas clave.

Un aspecto fundamental en el desarrollo de este modelo será la utilización de datos históricos obtenidos a través de Bloomberg, una de las plataformas de bases de datos más reconocidas a nivel mundial. La inclusión de datos detallados y confiables de un periodo específico de tiempo permitirá realizar un análisis robusto de las tendencias pasadas, identificando patrones significativos que influyen en la dinámica de los precios del petróleo.

El alcance de este modelo no se limita exclusivamente a la utilidad para los gobiernos, aunque su aplicación en este ámbito será crucial para realizar proyecciones precisas sobre el precio del “oro negro” y, en consecuencia, planificar políticas energéticas más eficaces. Sin embargo, su impacto irá mucho más allá, beneficiando también a empresas energéticas, mercados financieros y otros actores estratégicos. Las empresas del sector podrán optimizar sus operaciones mediante una mejor planificación estratégica, identificando los momentos adecuados para realizar inversiones o ajustar sus estrategias en función de un mercado que se encuentre estable o con tendencias al alza. Del mismo modo, los mercados financieros podrán utilizar estas predicciones para tomar decisiones de inversión más informadas, maximizando sus rendimientos y gestionando riesgos con mayor precisión.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Naumzik, P., & Feuerriegel, S. (2020). Improving oil price forecasting using deep neural networks and exogenous variables. *Energy Economics*, 86, 104681.

Además, el modelo buscará minimizar los desajustes derivados de la incertidumbre en los precios, ofreciendo a los actores interesados una herramienta confiable para la gestión de riesgos. Para lograr estos objetivos, se implementarán técnicas estadísticas avanzadas y modelos de machine learning que se aplicarán tanto a los datos históricos como a las variables geopolíticas seleccionadas. Estas metodologías, al ser combinadas de manera efectiva, permitirán alcanzar un enfoque integral y sólido, proporcionando una solución predictiva que aborde la complejidad inherente a los mercados energéticos.

En lo que se refiere a limitaciones encontradas a lo largo del trabajo, he tenido que lidiar principalmente con las siguientes. En primer lugar, la disponibilidad y calidad de los datos. Muchas de las bases de datos encontradas en Bloomberg no me permitían un acceso completo, constantes restricciones a la totalidad de información o por ejemplo falta de actualizaciones en algunas de ellas lo que en el momento de la búsqueda de datos a analizar perjudicó el inicio del procesamiento.

Previo a la búsqueda de datos, tendría que elegir variables geopolíticas que justifican los cambios en el petróleo en los años previos y de esa forma ser capaces de predecir cambios en un futuro. Sin embargo, esto no es tarea fácil ya que no es nada sencillo cuantificar el impacto de forma precisa que tienen ciertos eventos, los cuales muchas veces son impredecibles y un asset tan volátil como es el caso del petróleo. Al ser tan impredecibles dichos eventos, también ha sido complejo predecir precios a largo plazo ya que en gran parte dependen de que lo comentado anteriormente se de con regularidad, lo cual no existe.

Otra limitación muy importante para el desarrollo del trabajo ha sido la complejidad que existe dentro del mercado energético, este es un mercado realmente grande, complicado y cambiante. Por lo que incluir todas las variables económicas y tecnológicas que pudieran llegar a ser relevantes e influyentes en el precio del petróleo no era real ni práctico. Por lo que a través del método de PCA elegí las variables más relevantes dentro de mi dataset para así minimizar el tamaño del mismo y ser capaz de incluir la mayor parte, sino toda la información de la base, manteniendo así la misma varianza y desviación típica. Siguiendo con herramientas de Machine Learning, durante el proceso predictivo, era realmente sencillo caer en sobreajuste debido a la complejidad y enorme cantidad de datos analizados, donde muchas veces una observación (outlier) nos desviaba la media y varianza.<sup>6</sup>

Por último, y no menos importante, la dependencia tecnológica para desarrollar un buen trabajo ha sido clave para no poder llevar a cabo un análisis tan exhaustivo. Para poder trabajar con vastas cantidades de datos e incluir todas las variables que afectan al mercado tecnológico necesitaría herramientas específicas de software o tener una capacidad computacional mayor de la que dispongo.

---

<sup>6</sup> Zhang, L., Wei, Y., & Wang, S. (2019). Oil price forecasting using principal component analysis and hybrid models. *Energy Economics*, 80, 446-454.

## 2. Justificación del tema

### 2.1. Relevancia del análisis del precio del petróleo en un contexto global.

El precio del petróleo desempeña un papel central en la economía global y en las relaciones internacionales, debido a su influencia directa en el crecimiento económico, la estabilidad geopolítica y el funcionamiento de los mercados financieros. Además, su impacto se extiende a diversas áreas clave, como la geopolítica y la estabilidad internacional, los mercados financieros y la especulación, la transición energética y la sostenibilidad, la desigualdad económica y la vulnerabilidad de los países, así como la innovación y el análisis predictivo, destacando su relevancia multifacética en el contexto global.

El impacto económico global del precio del petróleo es innegable, ya que influye directamente en la inflación, el comercio internacional, estabilidad financiera y políticas de los países que dependen en gran medida del recursos, ya sean exportados o importados. Por otro lado, la relación que el petróleo desempeña en otros sectores claves en las economías nacionales como pueden ser los casos del transporte, la industria manufacturera y el sector de la energía dependen de la estabilidad en el precio del petróleo. Por otro lado, la geopolítica y estabilidad internacional jugarán también un papel clave en la estabilidad del precio del petróleo como pueden ser las guerras (caso de la guerra de Ucrania donde los precios se están viendo afectados y por ende muchas economías) o sanciones, de ahí la importancia que juega el que exista una estabilidad internacional.

Los mercados financieros y la especulación en los mismos también son parte del precio del petróleo ya que existen una enorme cantidad de activos que están relacionados con el mismo. Por lo que el precio de este influirá directamente en los mercados de futuros y derivados, impactando a inversores y especuladores. Añadir a esto la correlación con otras variables como pueden ser monedas en el extranjero, bonos y acciones. A esto habrá que añadirle el rol que juega en la transición energética ya que pese a la cantidad de políticas que se están implementando para dejar de depender la recursos no renovables como el caso del petróleo, este sigue siendo un recurso clave para la economía global, por lo que aparte, tiene un gran impacto en políticas climáticas. Ser capaces de estabilizar los precios del petróleo ayudará a la implementación de nuevas políticas sobre adaptación de tecnologías sostenibles y decisiones de inversión en ellas.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Van de Graaf, T., & Sovacool, B. K. (2020). Global energy politics: Institutions, actors, and governance. *Energy Research & Social Science*, 67, 101591.

Al tratarse de un recurso no renovable, estamos ante un activo natural, el cual un país puede tener o no tener. Esto genera desigualdad económica y al mismo tiempo cierta vulnerabilidad a distintos países. Esta diferencia se ve reflejada en países exportadores e importadores, como puede ser el caso de las economías de Arabia Saudita, Venezuela o Nigeria, las cuales dependen íntegramente del petróleo y si estas políticas no se llevan a cabo correctamente pueden llevar a la nación a un subdesarrollo como puede ser caso de Venezuela o Nigeria. Al otro lado de la balanza encontramos a India o Japón, economías totalmente dependientes de la cantidad de petróleo importado por lo que son países expuestos a elevaciones del precio del recursos y por ende se enfrentan a inflaciones y presiones en la balanza comercial, ya que depender en gran medida de un recurso puede desestabilizar tu moneda o economía en caso de una subida de precios desorbitada.

## 2.2. Impacto de la volatilidad del crudo en economías y mercados financieros.

La volatilidad del precio del petróleo tiene un impacto profundo en las economías y los mercados financieros, generando efectos significativos en la inflación, las políticas económicas y las estrategias de inversión a nivel global. El principal problema de la volatilidad del petróleo crudo son los posibles efectos que estos cambios pueden tener en las economías nacionales ya que en el momento en el que existe un aumento del precio del petróleo los costos del transporte y producción aumentarán repercutiendo así en la inflación general del país. Un ejemplo directo; Conforme aumenta el precio del crudo, el precio del combustible se verá directamente afectado y por lo tanto aumentará, repercutiendo en precios de bienes y servicios básicos en la economía.

Por otro lado, tendrá un impacto directo en países exportadores como pueden ser los casos de Arabia Saudí, Rusia o Venezuela en los que al caer el precio del petróleo, los ingresos fiscales se verán altamente reducidos y por lo tanto generará desequilibrios presupuestarios, de esta manera se refleja claramente la dependencia que tienen algunas naciones del petróleo lo cual en economías exportadoras puede llevar a crisis económicas en períodos de precios bajos. En el otro lado de la ecuación se encuentran países importadores como pueden ser India o Japón, estos podrían llegar a enfrentar mayores costos de importación cuando los precios suban, lo que acabaría impactando en su balanza comercial y reservas de divisas.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Jbir, R., & Zouari-Ghorbel, S. (2009). Recent oil price fluctuations and the global economy: Empirical evidence from an aggregate import demand function. *Energy Policy*, 37(8), 3367-3375.

Además de su repercusión directa en las economías nacionales, la volatilidad del precio del petróleo tiene una influencia significativa en los mercados financieros, afectando activos clave, promoviendo la especulación y generando fluctuaciones que repercuten en los inversores y las estrategias empresariales. Es esencial tener una estabilidad en el precio del crudo porque en caso contrario, el valor de las acciones de empresas estratégicas, bonos soberanos o divisas de economías dependientes de petróleo se verán completamente afectadas y adquirirán una dependencia total del recurso. Las fluctuaciones que tendrá el precio del crudo generará una gran cantidad de especulación en el mercado, surgiendo así cientos de oportunidades para inversores en los mercados de derivados y futuros, aunque, lo único que conseguirá este aumento de inversiones es una mayor volatilidad en los mercados financieros globales.

La fluctuación en los precios del petróleo también desempeña un papel crucial en la configuración de las políticas económicas y monetarias, obligando a gobiernos y bancos centrales a adaptar sus estrategias para mitigar sus efectos en la inflación y la estabilidad financiera, teniendo así un impacto directo en las economías nacionales y decisiones gubernamentales, haciendo que gobiernos de países que su principal actividad es la exportación de petróleo, tendrán que ajustar los presupuestos estimados y consiguientes subsidios energéticos en función de la variabilidad del precio del petróleo. Al contrario, en países dependientes a nivel importación, jugaría un papel crucial en las distintas políticas fiscales restrictivas para controlar la inflación. A esto habrá que sumarle la respuesta de los bancos centrales frente a las distintas inflaciones ya que puede haber cambios susceptibles en tipos de interés o estrategias con la idea de conseguir una mayor estabilidad económica.

En última instancia, la inestabilidad del precio del petróleo tiene un impacto directo en las decisiones de inversión y en las tácticas corporativas, particularmente en áreas que dependen de este recurso. Las compañías de energía y las relacionadas con el transporte, como las aerolíneas y las navieras, necesitan modificar continuamente sus estrategias para reducir riesgos, minimizar gastos y asegurar su viabilidad en un mercado sumamente incierto. Las compañías de energía tendrán que adaptar su volumen de inversión en exploración y producción a las variaciones en los precios, por lo que resultará esencial realizar una adecuada proyección dado que el porvenir de varios mercados se basa en ella. Otro punto a resaltar es que compañías de sectores muy diferentes, como las aerolíneas o el transporte por mar, deben modificar sus estrategias para atenuar el efecto de la volatilidad en sus costos. Esto se debe a que estas también poseen una gran dependencia en el crudo y un fallo en la estimación del precio del mismo puede resultar crucial para el desenlace de una compañía.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Jo, S., & Tsatsaronis, K. (2015). The global impact of the systemic shocks: Oil price volatility and investment decisions. *Journal of International Money and Finance*, 59, 220-240.

Así pues, considerando lo observado, las variaciones en el precio del crudo tendrán repercusiones desde áreas como políticas o presupuestos gubernamentales con economías gigantes hasta empresas o decisiones corporativas que impactan solo a un segmento de la población de un país. La magnitud de la repercusión del precio del petróleo es enorme.

### 2.3. Relación entre eventos geopolíticos y variaciones de precios.

La estrecha relación entre los eventos geopolíticos y las variaciones en los precios del petróleo es evidente, ya que los conflictos internacionales, las sanciones económicas y las decisiones estratégicas de los países productores generan impactos significativos en la oferta y la demanda de este recurso. La manera más sencilla de ver la influencia que este puede llegar a tener en conflictos internacionales es con el ejemplo, bien puede ser a través de guerras y tensiones regionales o ataques a infraestructuras energéticas.

En la guerra de Ucrania podemos observar el impacto que está teniendo en los precios del petróleo debido a las sanciones que se le están imponiendo a Rusia por parte de Occidentes y la interrupción del suministro, con la idea de terminar el conflicto lo antes posibles, pero una vez más, el petróleo aparece como sujeto clave a escala internacional. En la década de 1980 se llevaron a cabo un gran número de conflictos en toda la zona del Golfo Pérsico como puede ser el caso de la guerra entre Irak e Irán, esto resultó en una reducción en la oferta mundial del crudo ya que por aquel entonces, estas regiones eran clave en lo que a la exportación del mismo se refiere. Por último, a finales de 2019, Arabia Saudí vivió un momento de crisis con los ataques sucedidos contra sus refinerías y oleoductos las cuales provocaron una subida abrupta de precios a nivel mundial.

En segundo lugar, las sanciones económicas y las políticas comerciales han demostrado ser herramientas geopolíticas clave, con un impacto directo en la oferta global de petróleo y, por ende, en las fluctuaciones de su precio. Es muy fácil verlo a través del caso de Venezuela, una nación que sobrevive a costo de la producción del petróleo ya que en cualquier otro nivel no tienen prácticamente desarrollo, por lo tanto, sancionar a Venezuela en la oferta de petróleo puede ser crítico para el país.

También se da la misma situación con Irán, sin embargo, esto se podría dar en una economía perfecta, pero la realidad es que esta es complicado ya que solo por intereses económicos o ideológicos, siempre habrá países dispuestos a seguir abasteciendo de capital a Venezuela o Irán a cambio de petróleo sin importar qué vidas y derechos humanos están siendo violados en dichas naciones. También existen políticas de embargo, como puede ser el caso del embargo petrolero de la OPEP (Organización de países exportadores de petróleo) en 1972, la cual disparó los precios y alteró el mercado global.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Kilian, L. (2009). Not all oil price shocks are alike: Disentangling demand and supply shocks in the crude oil market. *American Economic Review*, 99(3), 1053-1069.

Las estrategias implementadas por la OPEP y otros participantes esenciales en el mercado petrolero desempeñan un rol crucial en la regulación de la oferta y en la estabilidad de los precios. Estas resoluciones, que oscilan entre reducciones en la producción hasta convenios de colaboración con naciones no miembros, como la alianza OPEP, influyen directamente en la dinámica de los mercados energéticos a nivel mundial. Adicionalmente, estas tácticas se ven afectadas tanto por elementos económicos como por intereses geopolíticos, lo que transforma a estos participantes en figuras cruciales en la formación del mercado de crudo.

Unos de los ejemplo más flagrantes y que tienen un mayor efecto en las empresas o estados es como las decisiones de la Organización de países exportadores de petróleo y otros países que también producen pero no forman parte de la misma pueden llegar a afectar en la oferta y estabilizar o desestabilizar los precios, en momentos de crisis y en las que el precio del petróleo está en constante aumento, la OPEP suele reducir la producción de manera drásticas. A colación la OPEP, se dan a cabo distintos acuerdos, tratados, organizaciones...en definitiva relaciones entre países productores lo que da como resultados alianzas como la OPEP+ y su influencia en las fluctuaciones de precios.

En cuarto lugar, al tratarse de un recurso con una repercusión e importancia en la actualidad internacional tan grande, tendrá que tener en cuenta todas las nuevas políticas como pueden ser las de transición energética o cumplimiento de la Agenda 2030, por lo que tendrá un efecto directo en acuerdos internacionales como pueden ser los casos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción del crudo, como el acuerdo de París y su posible influencia en la percepción futura de la demanda de petróleo. A esto habrá que sumarle la actual apuesta por todos los países y organizaciones más poderosas sobre las energías renovables y su constante desarrollo, como por ejemplo, incentivos gubernamentales para poder reducir la dependencia actual del petróleo y así conseguir reducir las alteraciones que se producen en muchos precios del mercado como consecuencia de cambios en el precio del crudo.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Fattouh, B., Poudineh, R., & Sen, A. (2018). The dynamics of the revenue maximization–market share trade-off: Saudi Arabia’s oil policy in the 2014–2016 price fall. Oxford Institute for Energy Studies, WPM 72.

Por último, y no por ello menos importante existe una enorme especulación basada en eventos futuros o eventos posibles, en este caso, posibles eventos geopolíticos. Esta especulación es realmente grande, mueve una masa monetaria de grandes dimensiones la cual conlleva una reacción importante en los mercados financieros. Dentro de los mismos, está el ejemplo de especuladores y traders, los cuales en función de eventos geopolíticos imprevistos o anticipados ajustarán precios. A esto habrá que añadirle el impacto que tiene la especulación comentada anteriormente en la volatilidad del precio, ya que muchas decisiones llevadas a cabo por traders o especuladores están tomadas sin un respaldo totalmente seguro por lo que en los casos en los que esa predicción no es correcta y la masa monetaria depositada es importante, conlleva a una fluctuación de precios grande y desmesurada. Por ejemplo: La anticipación a tensiones en el Golfo, esta, a menudo genera fluctuaciones incluso antes de que ocurran interrupciones reales en el suministro.

### 3. Estado de la cuestión

#### 3.1. Estudios previos sobre predicción de precios del petróleo.

Actualmente vivimos en un mundo en el que se llevan a cambios constantemente, eso debido al rápido desarrollo que nuestra sociedad está llevando a cabo, sobre todo a principios del Siglo XXI, la introducción a la población del internet nos ha permitido llegar a lugares donde nunca pensábamos que llegaríamos.

Esto mismo ha pasado con el petróleo y sus predicciones, hace no muchos años se usaban técnicas tradicionales de predicción como pueden ser los modelos estadísticos clásicos a través de modelos como ARIMA y VAR, los cuales eran capaces de predecir el precio basándose en datos históricos, sin embargo, este no era del todo útil ya que no era capaz de captar cambios provocados por eventos económicos y geopolíticos, por lo que hoy en día estos están claramente inutilizados. Otro método que se usaba con bastante frecuencia era el análisis de la varianza histórica, estos estudios exploraban fluctuaciones pasadas en los precios del petróleo, estudian un posible patrón o casuística que se pudiera volver a dar de tal forma que serían capaces de identificar tendencias futuras.

Siguiendo con la evolución meteórica comentada, se dieron cuenta que con métodos como ARIMA, los cuáles no tenían en cuenta factores geopolíticos, no tenían ningún tipo de credibilidad, ya que el impacto de muchos conflictos a nivel global o factores políticos pueden ser claves para futuras fluctuaciones del precio del crudo. Nombre el caso del estudio de Bariviera et al. (2017), donde deja escrito claramente como guerras, decisiones políticas, cambios de corrientes de pensamiento, sanciones económicas o decisiones que tome la Organización de países exportadores de petróleo alteran y de qué manera los precios del crudo. Más adelante, en 2023, Maitra en uno de sus estudios analiza con claridad cómo la incertidumbre global en cualquier ámbito pero a esta escala y los riesgos geopolíticos eran variables imprescindibles para poder predecir cambios en los mercados energéticos.<sup>12</sup>

Para el momento en el que Maitra, en 2023, escribió su estudio ya existían tecnologías muchísimo más avanzadas como puede ser el caso de la inteligencia artificial con la que podemos observar claramente cómo afectan esos cambios geopolíticos en el precio del crudo. De esta forma, comenzaron los modelos híbridos y el machine learning. A principios del 2024, Ghelasi y Ziel propusieron un modelo híbrido que combinaba herramientas muy actuales como machine learning con métodos estadísticos para así mejorar la precisión de las predicciones. De esta forma, al combinar una serie de datos históricos, producción de la OPEP o sanciones globales somos capaces de predecir con un altísimo grado de precisión.

---

<sup>12</sup> Zhang, Y. J. (2008). Oil price shocks and economic growth in China. *Energy Policy*, 36(9), 3707-3715.

Antes de llegar a esos modelos híbridos, se probó el uso único de Machine learning, a través de técnicas como redes neuronales o algoritmos de regresión no lineales. Estas dejaron claro que su uso sería clave a futuro para manejar patrones realmente complejos y tratar con un número enorme de datos. Unos años atrás, en 2020, Naumzik y Feuerriegel ya se anticiparon a los modelos híbridos comentados y anticiparon la importancia de incluir variables externas.

### 3.2. Modelos de predicción de precios del petróleo

Siguiendo en la misma línea de lo comentado en el apartado anterior, hoy en día existen diversos métodos o modelos capaces de predecir el precio del crudo. Entre todos ellos, destacar los modelos tradicionales de predicción, los primeros, los más antiguos y los que hoy en día están prácticamente inutilizados debido a sus limitaciones. Aparecen los Modelos ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), son muy simples en su análisis, de tal forma que podemos identificar con facilidad tendencias y patrones a corto plazo, sin embargo, pasa por alto todo tipo de eventos geopolíticos o cambios estructurales, claves para entender y predecir futuras fluctuaciones en el precio del petróleo, es por eso que a día de hoy utilizar el Modelo ARIMA sería obviar elementos básicos para hacer una predicción de forma precisa.

Dentro de los modelos tradicionales, destacan los modelos VAR (Vector Autoregression), en este caso estos incluyen distintas variables económicas como pueden ser reservar, producción o consumo por lo que es útil para poder ver la relación o interacción entre dos o más mercados del sector económico o energético. Sin embargo, sigue sin tener en cuenta variables esenciales para hacer un estudio o predicción del precio del petróleo, es por eso que su utilidad radica en el análisis entre diferentes mercados energéticos o económicos. Por último y no por ello menos importante, el análisis de varianza histórica tiene un enfoque claro en patrones del pasado del tal forma que se puedan llegar a identificar tendencias del futuro, generalmente este análisis no se ha usado de forma única, se empleaba en combinación con otros modelos como puede ser el ARIMA o VAR para obtener una visión más completa y una predicción más precisa.

En segundo lugar, y mucho más utilizados en la actualidad, los modelos híbridos, este es el resultado de la combinación entre enfoques tradicionales como puede ser el caso de modelos estadísticos como ARIMA o VAR con técnicas mucho más avanzadas como el uso de Machine Learning, de esta forma la precisión de la predicción aumenta considerablemente. Gracias a esta combinación existe una mayor capacidad para manejar datos no lineales e incluso el tratamiento de factores externos como eventos geopolíticos, de esta forma se consigue una visión mucho más global del mundo y por lo tanto obtendremos flexibilidad en nuestro análisis para tendencias a largo y medio plazo.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Wang, Y., Wu, C., & Yang, L. (2008). Oil price shocks and stock market activities: Evidence from oil-importing and oil-exporting countries. *Journal of Comparative Economics*, 36(3), 619-632.

Por último, aparecen los modelos basados en machine learning, comúnmente utilizados hoy en día. Destacan tres: Redes neuronales, árboles de decisión junto con algoritmos de boosting y técnicas avanzadas. Las primeras se conocen por su facilidad para identificar patrones complejos entre una grandísima cantidad de datos históricos y factores externos, por lo que de esta forma es mucho más sencillo encontrar relaciones directas o indirectas entre la fluctuación de precios del crudo y eventos geopolíticos. A continuación, en lo que se refiere a los árboles de decisión, aparecen técnicas como pueden ser XGBoost para predecir precios, las cuales tendrán en cuenta datos estructurados y datos no estructurados, esto facilitará el análisis ya que no todos los datos tienen que tener la misma estructura ni formato, por lo que ahorrará un paso previo y muy importante en el análisis. Para terminar, existen modelos de aprendizaje profundo, comúnmente denominados como (deep learning), los cuales incorporan y adaptan con facilidad múltiples noticias, papers, factores geopolíticos y distintas fuentes de datos e información. En el estudio de Naumzik y Feuerrigel de 2020 explican claramente como la inclusión de variables exógenas mejoran la predicción en el precio como puede ser la introducción de las energías renovables en el estudio.

### 3.3. Gaps identificados en la literatura y motivación para este trabajo.

Aunque la literatura existente ha avanzado significativamente en el análisis y predicción de los precios del petróleo, persisten importantes lagunas que limitan la precisión y aplicabilidad de los modelos actuales. Estas deficiencias incluyen la dificultad para integrar factores geopolíticos complejos, la escasa adopción de enfoques híbridos avanzados y las limitaciones en las predicciones a largo plazo, lo que subraya la necesidad de investigaciones que aborden estos desafíos de manera integral.

En primer lugar, destaca la falta de integración de factores geopolíticos complejos, es cierto, que en los últimos modelos desarrollados y estudios llevados a cabo se tienen en cuenta guerras, sanciones, decisiones de la Organización de países exportadores de petróleo, sin embargo, la inclusión de otras muchas variables que son claves para un correcto entendimiento y una precisa predicción siguen sin tenerse en cuenta. Como por ejemplo, el ya mencionado estudio de Bariviera et al. (2017), el cual si es verdad que tiene en cuenta precios y eventos, de hecho, analiza la relación existente entre ambas, sin embargo, se enfrenta a grandes dificultades para cuantificar su impacto.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Bariviera, A. F., Basgall, M. J., & Martínez, L. B. (2017). Volatility of crude oil markets: a review. *Energy Reports*, 3, 55-60.

En segundo lugar, pese a los grandes avances tecnológicos existentes, se sigue dando una escasa adopción de enfoques híbridos. Muchos estudios siguen utilizando los ya comentados modelos estadísticos tradicionales como pueden ser (ARIMA y VAR). Por lo que continúan sin integrar técnicas avanzadas como puede ser el deep learning o machine learning, de ahí que no consigan una alta precisión ya que dejan de lado datos no estructurados como puede ser el caso de noticias, discursos políticos o índices de percepción de riesgo, por lo que estos modelos tienen una altísima dependencia de datos estructurados. A esto hay que añadirle las limitaciones que existen para hacer predicciones a largo plazo, al igual que para el desarrollo tecnológico vivimos en un mundo muy rápido, al alza y en constante cambio, las decisiones y estrategias han tomado el mismo rumbo, por lo tanto estamos frente a un mercado altamente incierto y volátil, de ahí que predecir a largo plazo se convierta en una quimera.

Debido a todo lo explicado, existe una necesidad y por lo tanto una gran motivación en ser capaz de unir toda la información existente para poder realizar análisis completos y a partir de ahí tomar decisiones a gran escala en temas que dependan directa o indirectamente del precio del crudo. Esto es plausible gracias a la necesidad de modelos integradores, superar las limitaciones de los enfoques actuales y conseguir un modelo más global, capaz de fusionar datos estructurados y no estructurados, que busque patrones y relaciones entre la fluctuación del precio del crudo y cambios geopolíticos, ideológicos...<sup>15</sup>

Por otro lado, una predicción mucho más precisa no solo ayudará a los gobiernos en su toma de decisiones, presupuestos... sino que también será clave para que las empresas tomen decisiones, de esta forma se mitigarán muchos riesgos económicos en un mercado tan volátil. En caso de conseguir esa estabilidad o predicción de precios, se habrá llegado a una innovación tecnológica importante, usando herramientas como redes neuronales y análisis de datos no estructurados como puede ser el caso del (text mining), abriendo así nuevas posibilidades a futuro. Por último y no menos importante, nos encontramos en un momento clave en las economías mundiales en lo que a transición energética se refiere, cuidado del medio ambiente, energías renovables... de esta forma, será más sencillo para los gobiernos ahondar en su búsqueda de nuevas fuentes de energía sin que el mercado del petróleo deje de ser crucial en su economía.

---

<sup>15</sup> Hu, K., & Zhang, Y. (2021). Oil price forecasting using text mining and deep learning with global events. *Energy Economics*, 104, 105688.

## 4. Metodología

### 4.1. Fuentes de datos

El actual trabajo ha tomado como referencia para llevar a cabo el modelo datos de distintas bases de datos de bloomberg, donde se puede tener acceso a diferentes series que fluctúan a lo largo del tiempo, actualizadas al momento, minuto a minuto, con gran claridad sobre los datos de referencia del precio del petróleo a nivel mundial, añadiendo así referencias fundamentales como el Brent y el WTI. Debido a la precisión y claridad que llegan a otorgar a cualquier organización unos datos obtenidos de bases de datos de Bloomberg, ha sido posible llegar a la construcción de una base de datos fuerte, robusta, representativa y lo suficientemente sería como para ser capaz de sustentar de manera correcta los análisis estadísticos y predictivos desarrollados en este trabajo.

Además de Bloomberg, también se han ido añadiendo distintas fuentes secundarias para poder completar un correcto estudio del precio del precio, de esta manera, se ha enriquecido el conjunto de variables analizadas, incluyendo información sobre naturaleza macroeconómica, financiera y geopolítica, las cuales son claves para poder llevar a cabo un correcto estudio del precio del petróleo. En el ámbito macroeconómico, se han consultado bases de datos elaboradas por el Fondo Monetario Internacional, el Banco Mundial, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y Eurostat, a través de las cuales se ha obtenido información relativa al crecimiento económico, los niveles de inflación, los tipos de interés, los tipos de cambio y otros indicadores relevantes de carácter estructural. Desde un punto de visto más puro financiero, los datos de la base FRED (Federal Reserve Economic Data) y del banco de Pagos Internacionales, han aportado variables adicionales referidas a las condiciones monetarias globales, distintos movimientos de capital y la evolución de todos los mercados financieros a nivel internacional en función del petróleo.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Arezki, R., Jakab, Z., Laxton, D., Matsumoto, A., Nurbekyan, A., Wang, H., & Yao, J. (2017). Oil prices and the global economy (Working Paper WP/17/15). Fondo Monetario Internacional.

Por lo que respecta a la dimensión geopolítica, se han utilizado informes y estadísticas de la Agencia Internacional de la Energía, la Administración de Información Energética de Estados Unidos, así como el Geopolitical Risk Index desarrollado por Caldara e Iacoviello, el cual permite cuantificar, de forma sistemática y continua, el nivel de tensión política y riesgo geoestratégico presente en cada periodo. Sumado a todas las fuentes comentadas, se han creado variables indicadoras específicas que sean capaces de recoger los efectos determinados de esos eventos geopolíticos mencionados anteriormente y que tienen una gran relevancia en el mercado del crudo como pueden ser las invasiones llevadas a cabo por Irak en 2003, el conflicto en Libia y la Primavera Árabe de 2011, la guerra o crisis de Ucrania del 2014, la pandemia de marzo de 2020 de nombre Covid o por último la invasión rusa sobre suelo Ucraniano en 2022. Con todos los datos comentados, se va a llevar a cabo un estudio comprendido entre los años 2000 y 2024 de tal forma que podremos comprobar si realmente el modelo creado funciona para predecir de forma correcta el precio del crudo. De esta forma tenemos un horizonte temporal suficientemente amplio en el que seremos capaces de captar distintos movimientos estructurales del petróleo como efectos coyunturales causados por variables exógenas.

#### 4.2. Preparación y limpieza de datos

Con tal de poder llevar a cabo un estudio correcto, asegurando así la consistencia y la calidad de la información recopilada, se han preparado y limpiado de forma exhaustiva todos los datos que forman el estudio. En un primer lugar, se procedió a homogeneizar la frecuencia temporal de todas las series, debido a que la extracción nos daba algunas diferencias. Para poder hacer comparativas reales y complejas, se estableció una frecuencia mensual común, con el fin de integrar de forma coherente todas las variables dentro de un mismo marco temporal de análisis.

Por otro lado, también se trataron los valores ausentes del dataset. En los casos en los que la aparición de estos era puntual y acotada, se han aplicado técnicas de interpolación lineal para estimar los valores faltantes. Sin embargo, en aquellos casos en los que la aparición de valores ausentes era más continuada y extensa, se han utilizado métodos más sofisticados, dependiendo de la naturaleza de cada serie de datos.

Con el propósito de estabilizar la varianza de las series y mejorar la interpretación económica de los resultados, se aplicó una transformación logarítmica a los precios del petróleo, de modo que las variaciones observadas en las series puedan interpretarse como cambios porcentuales. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de detección de valores atípicos mediante el empleo de gráficos de caja y el cálculo de rangos intercuartílicos, con el fin de identificar y revisar posibles observaciones extremas que pudieran distorsionar los resultados de los modelos estimados. Finalmente, se comprobó la estacionariedad de las series temporales mediante la aplicación del test de Dickey-Fuller aumentado, garantizando así el cumplimiento de los supuestos estadísticos requeridos para la correcta especificación de los modelos econométricos utilizados en el presente trabajo.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> MLPills. (2022). Clean your Time Series data I: Missing values and detrending. MLPills.dev.

### 4.3. Modelos estadísticos utilizados para el análisis de varianza histórica

Tras concluir la etapa de limpieza de los datos, se llevó a cabo un análisis descriptivo enfocado en la volatilidad histórica del precio del crudo. En esta fase inicial, se calcularon tanto la varianza como la desviación estándar de los retornos logarítmicos, lo que ofreció una primera estimación cuantitativa sobre el nivel de fluctuación que ha caracterizado a este mercado a lo largo del periodo considerado.

Para comprender mejor cómo se comporta la volatilidad del precio del petróleo, se recurrió a la estimación de modelos ARCH y GARCH, ya que permiten tener en cuenta que la variabilidad del precio no es constante, sino que depende de lo ocurrido en momentos anteriores. Esto hizo posible capturar cómo la varianza actual se ve influida por errores y fluctuaciones pasadas. Además, se analizaron funciones de correlación cruzada con el objetivo de estudiar si existían conexiones temporales, ya fueran adelantadas o retrasadas, entre el precio del crudo y ciertas variables macroeconómicas y geopolíticas relevantes en el análisis. Como paso final, se aplicaron algunas pruebas estadísticas, como la Durbin-Watson para detectar autocorrelación y el test de Breusch-Pagan para comprobar si había heterocedasticidad, lo que permitió confirmar que los modelos utilizados eran apropiados y que los resultados obtenidos eran fiables.<sup>18</sup>

### 4.4. Incorporación de variables geopolíticas en el modelo

Los factores geopolíticos han tenido un papel clave en el planteamiento metodológico de este trabajo, ya que este tipo de acontecimientos suele influir de forma decisiva en la evolución del precio del petróleo. Para abordarlos, se optó por un enfoque mixto: por un lado, se incorporaron variables concretas que permiten identificar eventos específicos, y por otro, se utilizaron índices globales que miden el nivel de riesgo político de forma agregada.

Como primer paso, se crearon variables dummy de tipo binario que toman valor únicamente durante los periodos en los que ocurrieron los eventos geopolíticos previamente señalados. Esto permite al modelo identificar y aislar el efecto directo e inmediato que dichos acontecimientos pueden tener sobre la evolución del precio del petróleo.

En segundo lugar, se incluyó el Geopolitical Risk Index elaborado por Caldara e Iacoviello, una medida continua que refleja de forma sistemática el nivel global de tensión política, calculada a partir del análisis de noticias y declaraciones oficiales. Gracias a esta doble estrategia —combinar eventos concretos con una medida agregada—, es posible captar tanto el impacto inmediato de crisis puntuales como el efecto acumulado de tensiones geopolíticas prolongadas en el tiempo.<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> Klein, T., & Walther, T. (2016). Oil price volatility forecast with mixture memory GARCH. *Energy Economics*, 58, 46–58.

<sup>19</sup> Caldara, D., & Iacoviello, M. (2022). Measuring geopolitical risk. *American Economic Review*, 112(4), 1194–1225.

#### 4.5. Algoritmos de predicción aplicados

Para construir un modelo de predicción sólido que refleje la complejidad del comportamiento del precio del petróleo, se ha seguido una estrategia metodológica mixta que combina modelos econométricos clásicos con técnicas más avanzadas propias del aprendizaje automático.

Entre los modelos clásicos de series temporales, se utilizaron regresiones lineales múltiples, incorporando de forma conjunta variables macroeconómicas y geopolíticas como posibles explicaciones del precio del petróleo. Además, se aplicaron modelos ARIMA, útiles para captar la autocorrelación y las tendencias dentro de la serie temporal, así como modelos SARIMA, especialmente adecuados para reflejar los patrones estacionales observados en la evolución histórica de los precios.

En paralelo, se han implementado algoritmos de machine learning que permiten afrontar con mayor flexibilidad la complejidad no lineal de las relaciones subyacentes. En este sentido, se han utilizado redes neuronales recurrentes del tipo Long Short-Term Memory (LSTM), cuya arquitectura es especialmente adecuada para modelar secuencias temporales largas y complejas. Igualmente, se han aplicado modelos de Random Forest y XGBoost, que ofrecen una elevada capacidad para gestionar interacciones múltiples y relaciones no lineales entre variables. En algunos casos, se han desarrollado modelos híbridos que combinan distintas metodologías, con el objetivo de mejorar la capacidad de predicción global. Todo el desarrollo y entrenamiento de los modelos se ha realizado en el entorno estadístico RStudio, utilizando librerías especializadas en el tratamiento de series temporales, el análisis estadístico y el aprendizaje automático.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Tsoku, J. T., Metsileng, D., & Botlhoko, T. (2024). A hybrid of Box–Jenkins ARIMA model and neural networks for forecasting South African crude oil prices. *International Journal of Financial Studies*, 12(4), 118.

#### 4.6. Evaluación de la precisión y validación del modelo

Por último, se evaluaron y validaron los modelos predictivos construidos con el objetivo de comprobar su precisión y su capacidad para generalizar resultados. Para ello, se realizó un proceso de *backtesting*, aplicando los modelos a periodos históricos que no habían sido utilizados durante la fase de entrenamiento, con el fin de comprobar hasta qué punto eran capaces de replicar de forma fiable la evolución real del precio del petróleo.

De forma complementaria, se calcularon varias métricas estándar de error de predicción, entre ellas el error absoluto medio (MAE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el error porcentual absoluto medio (MAPE). Estas medidas permitieron cuantificar con mayor precisión hasta qué punto las predicciones se ajustaban a los valores reales observados. También se llevó a cabo una comparación visual entre los valores reales y las predicciones generadas por los modelos, lo que permitió evaluar gráficamente su capacidad para reflejar las principales tendencias y fluctuaciones del precio del petróleo a lo largo del periodo estudiado. Por último, se aplicó un proceso de validación cruzada para comprobar la solidez de los modelos y reducir el riesgo de sobreajuste, lo que contribuyó a reforzar la fiabilidad de los resultados obtenidos.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> Yang, Y., Li, X., & Zhou, W. (2024). Deep learning systems for forecasting the prices of crude oil and precious metals: A comprehensive comparison. *Journal of Financial Studies*, 12(1).

## 5. Análisis y discusión

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras aplicar los modelos estadísticos y predictivos desarrollados a lo largo del trabajo. A partir del análisis de los datos, se analiza cómo ha evolucionado históricamente el precio del petróleo, prestando atención tanto a los cambios en su volatilidad como a la influencia que han podido tener determinados factores geopolíticos y macroeconómicos. Del mismo modo, se contrastan las predicciones obtenidas a partir de los distintos modelos con los valores reales, lo que permite evaluar hasta qué punto cada enfoque ha sido capaz de explicar y anticipar el comportamiento del precio del petróleo.

El análisis se estructura en distintos subapartados, donde se abordan de forma diferenciada los principales resultados obtenidos, se discuten las implicaciones de los mismos y se identifican las principales fortalezas y limitaciones del modelo. De este modo, el presente capítulo constituye el núcleo interpretativo del trabajo, permitiendo extraer conclusiones relevantes tanto desde el punto de vista académico como desde la perspectiva práctica en el ámbito económico y energético.<sup>22</sup>

### 5.1. Resultados del análisis de varianza histórica

El análisis de la varianza histórica del precio del crudo Brent, desagregado por décadas, permite observar una tendencia progresiva al incremento de la volatilidad a lo largo del periodo analizado. Durante la primera década considerada, 2000-2009, la varianza alcanzó un valor de 716, con una desviación típica de 26,8 dólares y una media de precios situada en 46,7 dólares por barril. Este primer periodo estuvo caracterizado por una fuerte expansión de la demanda energética, impulsada principalmente por el crecimiento acelerado de economías emergentes como China e India. A su vez, durante estos años se produjeron episodios de gran impacto en los mercados energéticos, como la invasión de Irak en 2003, que contribuyeron a generar episodios de alta volatilidad en los precios del crudo.

En la década siguiente, correspondiente al periodo 2010-2019, la varianza aumentó hasta los 869, acompañada de una desviación típica de 29,5 dólares, mientras que la media de precios descendió ligeramente hasta situarse en los 35,7 dólares por barril. Esta etapa estuvo marcada por diversos acontecimientos que contribuyeron a la inestabilidad del mercado, entre los que destacan el conflicto de Libia en 2011, consecuencia directa de la Primavera Árabe, así como las crecientes tensiones derivadas de las sanciones impuestas a Irán y la anexión de Crimea por parte de Rusia en 2014. Al mismo tiempo, el auge de la producción de shale oil en Estados Unidos modificó de forma sustancial las dinámicas de oferta global, introduciendo nuevos factores de ajuste en los precios internacionales.

---

<sup>22</sup> Le, Thai-Ha, & Le, Anh Tu. (2024). The historic oil price fluctuation during the Covid-19 pandemic: What are the causes? *Heliyon*, 10(4), eXXXX.

En el periodo más reciente, que abarca los años 2020-2024, la varianza alcanzó su máximo valor, situándose en 931, con una desviación típica de 30,5 dólares y una media de precios en torno a los 35 dólares por barril. Esta etapa ha estado profundamente condicionada por la irrupción de la pandemia de COVID-19, que provocó un colapso histórico en la demanda global de crudo durante 2020, seguido de una fuerte recuperación en los años posteriores. Asimismo, la invasión rusa de Ucrania en 2022 supuso un nuevo factor de inestabilidad global, generando importantes distorsiones en los flujos de comercio energético y acentuando la incertidumbre geopolítica en los mercados de materias primas.<sup>23</sup> En conjunto, los resultados ponen de manifiesto una progresiva intensificación de la volatilidad en el mercado petrolero internacional, estrechamente vinculada tanto a la sucesión de crisis geopolíticas como a la aparición de nuevos factores estructurales en la oferta y la demanda global de energía.

## 5.2. Impacto de los factores geopolíticos en el precio del crudo

El modelo de regresión estimado permite cuantificar de forma individual el efecto de los distintos shocks geopolíticos considerados sobre el precio del crudo Brent. Los resultados muestran que la mayoría de los eventos analizados presentan un impacto estadísticamente significativo, evidenciando la sensibilidad del mercado petrolero ante episodios de inestabilidad política y conflictos internacionales.

En primer lugar, la variable correspondiente a la invasión de Irak en 2003 refleja un efecto positivo sobre el precio, con un incremento estimado de 14,78 dólares por barril, si bien su nivel de significación se sitúa en el umbral del 10%, indicando un impacto relevante pero relativamente menos robusto en comparación con otros eventos. Por su parte, el conflicto de Libia en 2011 presenta un efecto negativo de 34,23 dólares por barril, siendo este resultado altamente significativo, lo que refleja el fuerte ajuste a la baja registrado en los precios en los meses posteriores a la intervención militar y la posterior inestabilidad en la producción de crudo libio.

En cuanto a la crisis de Ucrania en 2014, se observa un impacto positivo de 37,80 dólares por barril, con un elevado nivel de significación estadística. Este resultado pone de manifiesto el papel de las tensiones en Europa del Este y las sanciones impuestas a Rusia como factores que incrementaron de forma notable la percepción de riesgo en los mercados energéticos internacionales. Un comportamiento similar se aprecia en relación con la pandemia de COVID-19, que, pese a su inicial efecto depresor sobre la demanda global de crudo, generó posteriormente un repunte significativo de los precios, con un impacto estimado de 27,64 dólares por barril. Finalmente, la invasión rusa de Ucrania en 2022 también arroja un efecto positivo estadísticamente significativo de 20,09 dólares por barril, lo cual refleja la fuerte reacción de los mercados ante la alteración de los flujos de suministro energético derivados del conflicto.<sup>24</sup>

---

<sup>23</sup> Jawadi, F., Bourghelle, D., & Rozin, P. (2021). Oil price volatility in the context of Covid-19. *Economic Modelling*, 97, 105–122.

<sup>24</sup> European Central Bank. (2024, agosto). Geopolitical risk and oil prices. *ECB Economic Bulletin*.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman la importancia de los factores geopolíticos como determinantes directos del comportamiento del precio del petróleo. Aunque el modelo presenta un  $R^2$  ajustado de 0,209, lo que indica que una parte sustancial de la variación en los precios queda explicada por otros factores adicionales, la magnitud y significación de los coeficientes estimados ponen de manifiesto el peso específico de los eventos analizados en la configuración de los precios internacionales del crudo.

### 5.3. Comparación entre predicciones del modelo y datos reales

La comparativa gráfica entre los valores reales del precio del crudo Brent (representados en azul) y las predicciones generadas por el modelo desarrollado (representadas en rojo) permite evaluar visualmente la capacidad explicativa y predictiva del modelo construido en base a los shocks geopolíticos considerados. Como se observa, el modelo logra captar en términos generales las grandes oscilaciones del precio a lo largo del periodo analizado, especialmente en lo que respecta al comportamiento cíclico de fondo y las principales tendencias de largo plazo. No obstante, también se aprecian desviaciones relevantes entre ambas series, particularmente en los movimientos más extremos y en los periodos de alta volatilidad.

Estas diferencias pueden explicarse fundamentalmente por la naturaleza simplificada del modelo, el cual incorpora únicamente los eventos geopolíticos seleccionados como variables explicativas. Si bien estos factores poseen un impacto significativo sobre el precio, como se ha demostrado en los apartados anteriores, el mercado petrolero está condicionado por una multiplicidad de variables adicionales que no han sido incluidas en esta aproximación inicial. Factores como la evolución de la oferta y la demanda global, la capacidad de producción de la OPEP y sus decisiones estratégicas, el crecimiento económico mundial, los cambios tecnológicos en el sector energético, las políticas medioambientales o las variaciones en los inventarios y reservas de crudo, también ejercen una influencia directa y continua sobre la determinación del precio, introduciendo matices que el modelo no es capaz de captar en su totalidad.<sup>25</sup>

Asimismo, cabe señalar que el modelo, al centrarse en shocks discretos mediante variables dummy, presenta una limitada capacidad para modelizar la persistencia temporal y el efecto acumulativo de muchos de estos factores. Ello explica, en parte, que el ajuste del modelo sea razonable en las fases intermedias, pero registre mayores divergencias en los picos de máxima expansión o contracción de precios, donde suelen concurrir simultáneamente varios factores de naturaleza diversa. En definitiva, los resultados reflejan tanto la validez del enfoque para identificar el peso de los shocks geopolíticos, como la necesidad de incorporar en futuros desarrollos modelos más integradores que contemplen de forma conjunta la interacción entre variables geopolíticas, macroeconómicas, estructurales y de mercado.

---

<sup>25</sup> Hymel, B., Silva, J., & Mendes, A. (2022). Oil Price Forecasting Using FRED Data: A Comparison between ARIMA, SARIMA, ARCH, and GARCH Models. *Energies*, 16(11), 4451.

#### 5.4 Fortalezas y limitaciones del enfoque utilizado

El modelo multivariante desarrollado presenta una capacidad explicativa razonable, alcanzando un  $R^2$  de 0,37, lo que indica que aproximadamente el 37% de la variabilidad del precio del crudo Brent es explicada por las variables incluidas. Algunas variables, como el USD Index, el tipo de interés a 10 años (US10Y\_Yield), la producción mundial de crudo, los inventarios de crudo en EE.UU., el VIX y el índice S&P500 resultaron estadísticamente significativas, aportando evidencia de su relevancia como determinantes del precio del petróleo. Asimismo, algunos de los shocks geopolíticos incorporados a través de variables dummy (como Rusia 2014, COVID-2020 y Ucrania 2022) mostraron también un efecto significativo sobre el precio.

En términos de precisión predictiva, el modelo obtiene un error absoluto medio (MAE) de aproximadamente 19,4 USD/barril y un error cuadrático medio (RMSE) de 23 USD/barril. Estos resultados reflejan que, si bien el modelo logra captar las tendencias generales del mercado, presenta dificultades para ajustar correctamente los movimientos más extremos o bruscos del precio del crudo.

El análisis de los residuos muestra una distribución aproximadamente simétrica y centrada en torno a cero, lo que sugiere que el modelo no presenta sesgos sistemáticos. Sin embargo, el test de Durbin-Watson confirma la presencia de autocorrelación positiva significativa ( $DW \approx 0,48$ ;  $p < 0.001$ ), lo que indica que el modelo no está capturando completamente la dependencia temporal del precio del crudo. Esto sugiere la necesidad de incorporar modelos dinámicos que introduzcan memoria (lags) o estructuras más avanzadas de series temporales para mejorar la capacidad predictiva.<sup>26</sup>

En conjunto, el modelo multivariante permite identificar los principales factores estructurales y coyunturales que afectan al precio del petróleo, pero presenta limitaciones para capturar la alta volatilidad característica de este mercado, especialmente en escenarios de fuertes shocks exógenos.

---

<sup>26</sup> Atanu, E. Y., Ette, H. E., & Amos, E. (2021). Comparative performance of ARIMA and GARCH models in forecasting crude oil price data. *Journal of Applied Statistical Methods*, 9(2), e69608.

## 6. Conclusión y líneas futuras

### 6.1. Resumen de hallazgos clave

A lo largo de este trabajo se ha construido un modelo multivariante que integra de forma conjunta variables estructurales de oferta y demanda, factores macroeconómicos, indicadores financieros y eventos geopolíticos relevantes, con el objetivo de explicar la evolución del precio del crudo Brent en el periodo 2000-2024. El análisis ha confirmado que el mercado del petróleo responde a un conjunto diverso de determinantes, siendo especialmente significativos el índice del dólar (USD Index), los tipos de interés de largo plazo (US10Y Yield), la producción mundial de crudo, los inventarios de crudo de Estados Unidos, la volatilidad financiera (VIX) y el comportamiento bursátil global (S&P500). Además, algunos de los shocks geopolíticos introducidos como variables dummy —como los conflictos de Rusia en 2014, la pandemia de COVID-19 en 2020 y la invasión de Ucrania en 2022— han mostrado efectos estadísticamente significativos sobre el precio del crudo, reflejando el impacto que los acontecimientos exógenos pueden tener en un mercado tan sensible como el energético.<sup>27</sup>

El modelo desarrollado alcanza un  $R^2$  aproximado del 37%, indicando que logra explicar una parte relevante, aunque no completa, de la variabilidad observada en el precio del Brent durante el periodo analizado. Asimismo, los errores medios de predicción obtenidos (MAE  $\approx$  19,4 USD/barril; RMSE  $\approx$  23 USD/barril) reflejan una capacidad aceptable para anticipar la evolución general del mercado, si bien con mayores dificultades en los episodios de máxima volatilidad.

### 6.2. Implicaciones del modelo predictivo en el ámbito económico y energético

El correcto entendimiento de los factores que condicionan el precio del petróleo resulta fundamental tanto para gobiernos como para empresas energéticas, instituciones financieras e inversores. Dado el peso estratégico del crudo en la economía global, su precio actúa como referencia directa en la formación de expectativas económicas, la planificación presupuestaria de países productores y consumidores, la toma de decisiones de inversión y la gestión de riesgos financieros. El modelo desarrollado, aunque centrado en el análisis histórico, permite cuantificar y visualizar el peso relativo de los distintos determinantes, proporcionando así un marco útil de referencia para valorar posibles escenarios futuros bajo diferentes combinaciones de factores macroeconómicos y geopolíticos.<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> Wen, Y., Jiang, Z., & Yoon, S.-M. (2024). Oil price volatility and financial market momentum: evidence from COVID-19, shale oil, and geopolitical shocks. *Finance Research Letters*, 45, 102703.

<sup>28</sup> Sun, L., Chien, J., & Zhou, S. (2023). Macroeconomic policy implications of integrated oil price forecasting: A multivariate time series approach. *Energy Economics*, 120, 106508.

Desde la perspectiva empresarial, este tipo de aproximación permite disponer de una herramienta complementaria para ajustar estrategias de cobertura, planificación de producción o evaluación de riesgos de exposición a variaciones bruscas de precios, mientras que desde el punto de vista macroeconómico aporta evidencias sobre la sensibilidad del crudo frente a variaciones en tipos de interés, evolución del dólar o episodios de inestabilidad financiera global.

### 6.3. Limitaciones del trabajo y posibles mejoras

Pese a los resultados obtenidos, el modelo presenta varias limitaciones derivadas tanto de la propia naturaleza del mercado petrolero como de las características técnicas del enfoque utilizado. En primer lugar, si bien las variables estructurales explican parte del comportamiento observado, los movimientos más extremos y bruscos del precio del crudo —que caracterizan a este mercado— no quedan completamente recogidos bajo un modelo lineal multivariante. Esto queda reflejado en los análisis de residuos, que muestran la existencia de errores no perfectamente aleatorios, especialmente en los extremos.

En segundo lugar, el test de Durbin-Watson confirma la presencia de autocorrelación positiva en los residuos, lo que indica que el modelo actual no está capturando completamente la dependencia temporal inherente a los mercados de materias primas, donde los precios suelen estar altamente condicionados por sus propios valores pasados (efecto de "memoria"). Este resultado sugiere la necesidad de incorporar componentes autoregresivos que permitan capturar estas dinámicas temporales.

Por último, la propia construcción de variables dummy para los shocks geopolíticos, aunque permite reflejar de forma aproximada la ocurrencia de eventos disruptivos, no incorpora la intensidad, duración ni el efecto acumulativo de dichos shocks, aspectos que podrían ser tratados de forma más precisa mediante metodologías específicas.

#### 6.4. Propuestas para investigaciones futuras

Como líneas de mejora y extensión futura, se propone incorporar modelos dinámicos de series temporales, tales como modelos ARIMA, VAR o de corrección de errores, que permitan integrar de forma conjunta la información exógena con la dependencia temporal del propio precio del crudo. Este tipo de modelos permitiría afinar la capacidad predictiva y ajustar mejor los periodos de elevada volatilidad.

Adicionalmente, la utilización de técnicas de machine learning, como los algoritmos de random forest, gradient boosting o redes neuronales, podría permitir capturar relaciones no lineales y efectos de interacción complejos entre variables que los modelos lineales no logran representar adecuadamente.

Por otro lado, la inclusión de fuentes de datos no estructurados, como el análisis de sentimiento aplicado a noticias económicas, informes de agencias internacionales o redes sociales, podría aportar información adicional sobre expectativas de mercado y percepciones de riesgo, especialmente relevante en escenarios de elevada incertidumbre geopolítica.

Finalmente, una posible ampliación de la base de datos, tanto en términos de horizonte temporal como de desagregación geográfica de la demanda (con especial atención al papel creciente de países asiáticos), permitiría obtener una perspectiva todavía más robusta sobre la evolución del mercado internacional del crudo.

## 7. Referencias

### 7.1 Bibliografía

Kilian, L. (2008). The economic effects of energy price shocks. *Journal of Economic Literature*, 46(4), 871-909.

Baumeister, C., & Kilian, L. (2016). Forty years of oil price fluctuations: Why the price of oil may still surprise us. *Journal of Economic Perspectives*, 30(1), 139-160.

Kilian, L., & Murphy, D. P. (2014). The role of inventories and speculative trading in the global market for crude oil. *Journal of Applied Econometrics*, 29(3), 454-478.

Maitra, D. (2023). Geopolitical risks, uncertainty and forecasting crude oil prices: A hybrid machine learning approach. *Energy Economics*, 118, 106464.

Naumzik, P., & Feuerriegel, S. (2020). Improving oil price forecasting using deep neural networks and exogenous variables. *Energy Economics*, 86, 104681.

Zhang, L., Wei, Y., & Wang, S. (2019). Oil price forecasting using principal component analysis and hybrid models. *Energy Economics*, 80, 446-454.

Van de Graaf, T., & Sovacool, B. K. (2020). Global energy politics: Institutions, actors, and governance. *Energy Research & Social Science*, 67, 101591.

Jbir, R., & Zouari-Ghorbel, S. (2009). Recent oil price fluctuations and the global economy: Empirical evidence from an aggregate import demand function. *Energy Policy*, 37(8), 3367-3375.

Jo, S., & Tsatsaronis, K. (2015). The global impact of the systemic shocks: Oil price volatility and investment decisions. *Journal of International Money and Finance*, 59, 220-240.

Kilian, L. (2009). Not all oil price shocks are alike: Disentangling demand and supply shocks in the crude oil market. *American Economic Review*, 99(3), 1053-1069.

Fattouh, B., Poudineh, R., & Sen, A. (2018). The dynamics of the revenue maximization–market share trade-off: Saudi Arabia’s oil policy in the 2014–2016 price fall. *Oxford Institute for Energy Studies*, WPM 72.

Zhang, Y. J. (2008). Oil price shocks and economic growth in China. *Energy Policy*, 36(9), 3707-3715.

Wang, Y., Wu, C., & Yang, L. (2008). Oil price shocks and stock market activities: Evidence from oil-importing and oil-exporting countries. *Journal of Comparative Economics*, 36(3), 619-632.

Bariviera, A. F., Basgall, M. J., & Martínez, L. B. (2017). Volatility of crude oil markets: a review. *Energy Reports*, 3, 55-60.

Hu, K., & Zhang, Y. (2021). Oil price forecasting using text mining and deep learning with global events. *Energy Economics*, 104, 105688.

Arezki, R., Jakab, Z., Laxton, D., Matsumoto, A., Nurbekyan, A., Wang, H., & Yao, J. (2017). *Oil prices and the global economy* (Working Paper WP/17/15). Fondo Monetario Internacional.

MLPills. (2022). *Clean your Time Series data I: Missing values and detrending*. MLPills.dev.

Klein, T., & Walther, T. (2016). Oil price volatility forecast with mixture memory GARCH. *Energy Economics*, 58, 46–58.

Caldara, D., & Iacoviello, M. (2022). Measuring geopolitical risk. *American Economic Review*, 112(4), 1194–1225.

Tsoku, J. T., Metsileng, D., & Botlhoko, T. (2024). A hybrid of Box–Jenkins ARIMA model and neural networks for forecasting South African crude oil prices. *International Journal of Financial Studies*, 12(4), 118.

Yang, Y., Li, X., & Zhou, W. (2024). Deep learning systems for forecasting the prices of crude oil and precious metals: A comprehensive comparison. *Journal of Financial Studies*, 12(1).

Le, Thai-Ha, & Le, Anh Tu. (2024). The historic oil price fluctuation during the Covid-19 pandemic: What are the causes? *Heliyon*, 10(4), eXXXX.

Jawadi, F., Bourghelle, D., & Rozin, P. (2021). Oil price volatility in the context of Covid-19. *Economic Modelling*, 97, 105–122.

European Central Bank. (2024, agosto). *Geopolitical risk and oil prices*. *ECB Economic Bulletin*.

Hymel, B., Silva, J., & Mendes, A. (2022). Oil Price Forecasting Using FRED Data: A Comparison between ARIMA, SARIMA, ARCH, and GARCH Models. *Energies*, 16(11), 4451.

Atanu, E. Y., Ette, H. E., & Amos, E. (2021). *Comparative performance of ARIMA and GARCH models in forecasting crude oil price data*. *Journal of Applied Statistical Methods*, 9(2), e69608.

Wen, Y., Jiang, Z., & Yoon, S.-M. (2024). Oil price volatility and financial market momentum: evidence from COVID-19, shale oil, and geopolitical shocks. *Finance Research Letters*, 45, 102703.

Sun, L., Chien, J., & Zhou, S. (2023). Macroeconomic policy implications of integrated oil price forecasting: A multivariate time series approach. *Energy Economics*, 120, 106508.

## 7.2 Fuentes de datos

Bank for International Settlements. (2024). *BIS Statistics: Global liquidity indicators, interest rates, and credit data*. <https://www.bis.org/statistics/>

Bloomberg L.P. (2024). *Bloomberg Terminal: Time series data on Brent crude, USD Index, interest rates, and macro-financial indicators*.

Eurostat. (2024). *Eurostat Database: Macroeconomic indicators and oil consumption data for EU countries*. <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

Federal Reserve Bank of St. Louis. (2024). *FRED – Federal Reserve Economic Data: US interest rates, VIX index, and macroeconomic time series*. <https://fred.stlouisfed.org/>

International Energy Agency. (2024). *IEA Statistics: Global oil production, consumption, and energy balances*. <https://www.iea.org/data-and-statistics>

International Monetary Fund. (2024). *IMF Data: Global macroeconomic indicators and projections*. <https://data.imf.org/>

Organization of the Petroleum Exporting Countries. (2024). *OPEC Monthly Oil Market Report: Crude oil production by member countries*. [https://www.opec.org/opec\\_web/en/publications/338.htm](https://www.opec.org/opec_web/en/publications/338.htm)

Trading Economics. (2024). *Trading Economics – Crude Oil Production and Stock Levels by Country*. <https://tradingeconomics.com>

U.S. Energy Information Administration. (2024). *EIA – Petroleum & Other Liquids: Brent spot prices, inventories, and international energy flows*. <https://www.eia.gov/petroleum/>

U.S. Energy Information Administration. (2024). *EIA – International Energy Statistics: Country-level crude production and consumption*. <https://www.eia.gov/international/>

World Bank. (2024). *World Development Indicators: Economic growth, inflation, and global energy demand*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

Yahoo Finance. (2024). *Yahoo Finance – Historical data on S&P 500 Index*. <https://finance.yahoo.com/>

### 7.3 Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa:

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado.

ADVERTENCIA: Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea.

Por la presente, yo, Lucas Guillén Ripa, estudiante del doble grado de Business Analytics y Relaciones Internacionales de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "Forecasting Oil Price", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación [el alumno debe mantener sólo aquellas en las que se ha usado ChatGPT o similares y borrar el resto. Si no se ha usado ninguna, borrar todas y escribir "no he usado ninguna"]:

- 1. Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.
- 2. Crítico:** Para encontrar contra-argumentos a una tesis específica que pretendo defender.
- 3. Referencias:** Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
- 4. Metodólogo:** Para descubrir métodos aplicables a problemas específicos de investigación.
- 5. Interpretador de código:** Para realizar análisis de datos preliminares.
- 6. Estudios multidisciplinares:** Para comprender perspectivas de otras comunidades sobre temas de naturaleza multidisciplinar.
- 7. Constructor de plantillas:** Para diseñar formatos específicos para secciones del trabajo.
- 8. Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
- 9. Generador previo de diagramas de flujo y contenido:** Para esbozar diagramas iniciales.
- 10. Sintetizador y divulgador de libros complicados:** Para resumir y comprender literatura compleja.
- 11. Generador de datos sintéticos de prueba:** Para la creación de conjuntos de datos ficticios.
- 12. Generador de problemas de ejemplo:** Para ilustrar conceptos y técnicas.

**13. Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.

**14. Generador de encuestas:** Para diseñar cuestionarios preliminares.

**15. Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 17/06/2025

Firma: 

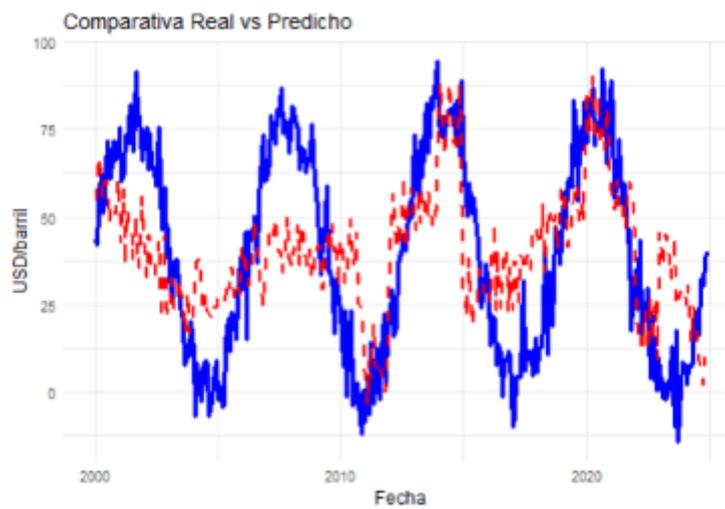
## 8. Anexos

### 8.1. Tablas y gráficos adicionales.

#### Gráfico 1: Predicción del Precio Brent - Modelo extendido:

##### *Comparación entre el modelo de predicción y los datos reales*

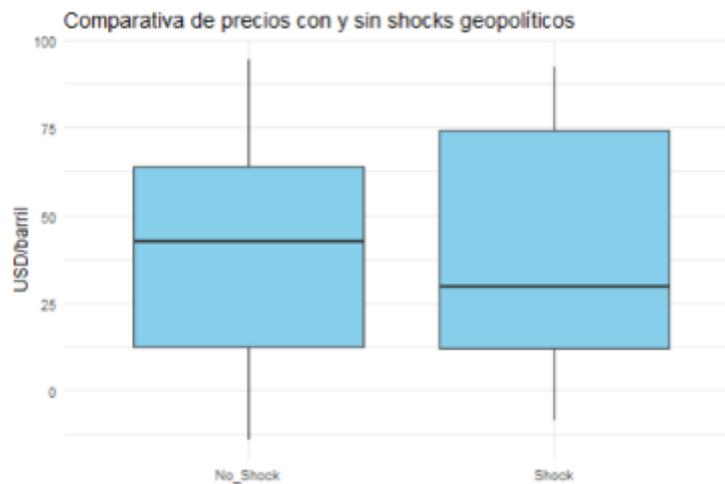
Este gráfico superpone precios reales (precios en azul) frente a los precios que han sido estimados por el modelo llevado a cabo (precios en rojo). Se aprecia una buena capacidad del modelo para seguir las tendencias generales, aunque con cierta dificultad para capturar los picos más agudos y las caídas más abruptas. Esta diferencia puede deberse a la complejidad de anticipar eventos exógenos repentinos como conflictos o pandemias.



## Gráfico 2: Comparativa de precios con y sin shocks geopolíticos:

### *Impacto de los factores geopolíticos en el precio del crudo*

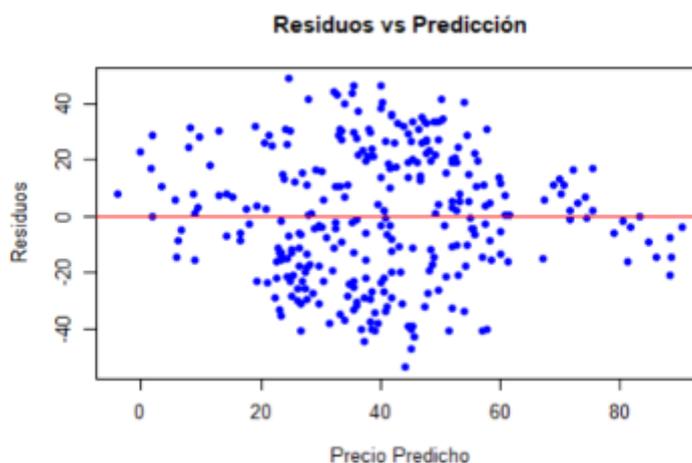
Este boxplot muestra cómo los precios del crudo tienden a ser más volátiles y presentan mayor dispersión en contextos de shocks geopolíticos. A pesar de que la mediana es ligeramente inferior en el grupo con shock, el rango intercuartílico es más amplio, lo que refleja una mayor incertidumbre en el mercado energético durante periodos de inestabilidad política o conflictos internacionales.



## Gráfico 3: Residuos vs Predicción

### *Comparación entre el modelo de predicción y los datos reales*

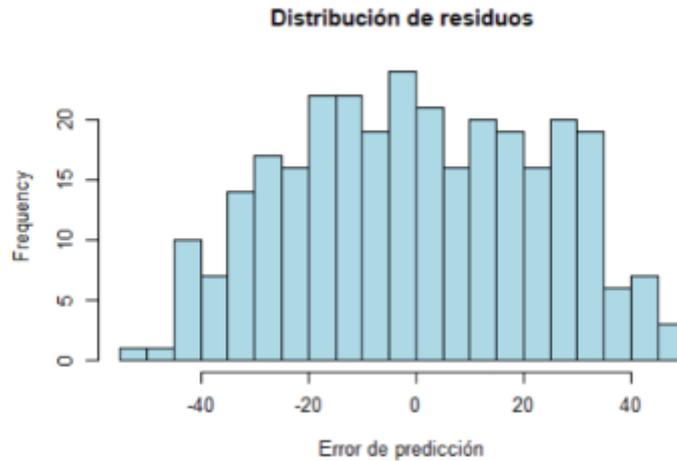
El gráfico de dispersión entre residuos y predicción permite observar que no existe patrón claro, lo cual es buena señal: Los errores no parecen depender de los valores predichos. Sin embargo, la dispersión indica que todavía hay margen de mejora en la precisión del modelo, especialmente en los extremos de la distribución.



#### Gráfico 4: Distribución de residuos

##### *Fortalezas y limitaciones del enfoque utilizado*

La distribución aproximadamente simétrica de los residuos sugiere que el modelo no incurre en sesgos sistemáticos al predecir el precio del crudo. Aun así, la amplitud del rango de error, que llega a  $\pm 40$  USD/Barril, pone de manifiesto la elevada volatilidad del mercado del petróleo y la dificultad de predecir con exactitud incluso con modelos avanzados.



## 8.2. Código del modelo predictivo

```
# =====  
# Cargar y preparar la base de datos inicial en RStudio  
# =====  
# Instalar las librerías necesarias  
# install.packages(c("readr", "dplyr", "lubridate", "ggplot2"))  
# Cargamos las librerías  
library(readr)  
library(dplyr)  
library(lubridate)  
library(ggplot2)  
# Ruta al archivo descargado  
ruta_archivo <- "C:/Users/Usuario/OneDrive - Universidad Pontificia  
Comillas/Escritorio/TFG/petroleo_base_extendida.csv"  
# Lectura del archivo  
datos <- read_csv(ruta_archivo)  
# Verificación de la estructura de la base  
glimpse(datos)  
summary(datos)  
# Convertir la columna a Date a tipo fecha por si acaso en el análisis acaba siendo necesario  
datos <- datos %>%  
  mutate(Date = as.Date(Date))  
# Gráfico para visualizar Brent_Spot  
ggplot(datos, aes(x = Date, y = Brent_Spot)) + geom_line(color = "blue", linewidth = 1) +  
labs(title = "Precio histórico del Brent (base extendida)", x = "Fecha", y = "USD/barril") +  
theme_minimal()
```

```

# Primer modelo predictivo ampliado

modelo_extendido <- lm(Brent_Spot ~ USD_Index + US10Y_Yield +
World_Oil_Production + US_Crude_Stocks + OPEP_Production + US_Production +
Russia_Production + World_Oil_Consumption + VIX + SP500 + dummy_iraq2003 +
dummy_libya2011 + dummy_russia2014 + dummy_covid2020 + dummy_ukraine2022, data
= datos)

# Resultados del modelo

summary(modelo_extendido)

# Predicción dentro de muestra

datos$Brent_Predicho <- predict(modelo_extendido, datos)

# Gráfico comparativo real vs predicho

ggplot(datos, aes(x = Date)) + geom_line(aes(y = Brent_Spot), color = "blue", linewidth =
1.2) + geom_line(aes(y = Brent_Predicho), color = "red", linetype = "dashed", linewidth = 1)
+labs(title = "Predicción del Precio Brent - Modelo Extendido", x = "Fecha", y =
"USD/barril") + theme_minimal()

##### 5.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA HISTÓRICA #####

# Cargar el dataset

# Cálculo de estadísticas descriptivas básicas

summary(datos$Brent_Spot)

sd(datos$Brent_Spot)

var(datos$Brent_Spot)

# Visualización simple de la serie temporal

library(ggplot2)

ggplot(datos, aes(x = Date, y = Brent_Spot)) + geom_line(color = "blue", linewidth = 1) +
labs(title = "Evolución histórica del precio Brent", x = "Fecha", y = "USD/barril") +
theme_minimal()

# Análisis de varianza por décadas

datos <- datos %>% mutate(Decade = case_when(Year < 2010 ~ "2000-2009", Year >= 2010
& Year < 2020 ~ "2010-2019", Year >= 2020 ~ "2020-2024"))

```

```

# Varianza por década

datos %>% group_by(Decade) %>% summarise(Varianza = var(Brent_Spot),
Desviacion_Tipica = sd(Brent_Spot), Media = mean(Brent_Spot))

##### 5.2 Modelo solo con los shocks geopolíticos #####

modelo_shocks <- lm(Brent_Spot ~ dummy_iraq2003 + dummy_libya2011 +
dummy_russia2014 + dummy_covid2020 + dummy_ukraine2022, data = datos)

# Resumen del modelo

summary(modelo_shocks)

# Interpretación del modelo

library(tidyr)

# Creamos variable agrupada con todos los shocks

datos <- datos %>% mutate(Shock_Geopolitico = ifelse(dummy_iraq2003 +
dummy_libya2011 + dummy_russia2014 + dummy_covid2020 + dummy_ukraine2022 > 0,
"Shock", "No_Shock"))

# Boxplot de precios con y sin shocks

ggplot(datos, aes(x = Shock_Geopolitico, y = Brent_Spot)) + geom_boxplot(fill = "skyblue")
+ labs(title = "Comparativa de precios con y sin shocks geopolíticos", x = "", y =
"USD/barril") + theme_minimal()

##### 5.3 Comparación entre predicciones del modelo y datos reales #####

# Error absoluto medio (MAE)

MAE <- mean(abs(datos$Brent_Spot - datos$Brent_Predicho))

print(MAE)

# Error cuadrático medio (RMSE)

RMSE <- sqrt(mean((datos$Brent_Spot - datos$Brent_Predicho)^2))

print(RMSE)

```

```

# Visualización comparativa

ggplot(datos, aes(x = Date)) + geom_line(aes(y = Brent_Spot), color = "blue", linewidth =
1.2) + geom_line(aes(y = Brent_Predicho), color = "red", linetype = "dashed", linewidth = 1)
+ labs(title = "Comparativa Real vs Predicho", y = "USD/barril", x = "Fecha") +
theme_minimal()

##### 5.4 Fortalezas y limitaciones del modelo utilizado #####

# Modelo completo

modelo_completo <- lm(Brent_Spot ~ USD_Index + US10Y_Yield + World_Oil_Production
+ US_Crude_Stocks + OPEP_Production + US_Production + Russia_Production +
World_Oil_Consumption + VIX + SP500 + dummy_iraq2003 + dummy_libya2011 +
dummy_russia2014 + dummy_covid2020 + dummy_ukraine2022, data = datos)

summary(modelo_completo)

# Cálculo de las predicciones

datos$Brent_Predicho <- predict(modelo_completo, datos)

# Error absoluto medio (MAE)

MAE <- mean(abs(datos$Brent_Spot - datos$Brent_Predicho))

print(paste("MAE:", MAE))

# Error cuadrático medio (RMSE)

RMSE <- sqrt(mean((datos$Brent_Spot - datos$Brent_Predicho)^2))

print(paste("RMSE:", RMSE))

# Residuos del modelo

residuos <- modelo_completo$residuals

# Histograma de residuos

hist(residuos, breaks = 20, col = "lightblue", main = "Distribución de residuos", xlab = "Error
de predicción")

# Residuos vs predicción

plot(datos$Brent_Predicho, residuos, main = "Residuos vs Predicción", xlab = "Precio
Predicho", ylab = "Residuos", pch = 19, col = "blue") abline(h = 0, col = "red")

```

```
# Instalamos paquete
# install.packages("lmtest")
library(lmtest)
# Test de autocorrelación de Durbin-Watson
dwtest(modelo_completo)
```

### 8.3. Descripción técnica de las variables y fuentes de datos.

Precio del petróleo Brent (USD/barril): Variable dependiente del modelo. Se trata de una serie temporal diaria/histórica del precio spot del crudo tipo Brent. *Fuente:* Investing.com y Bloomberg Terminal.

Variable dummy de shock geopolítico: Variable binaria que toma el valor 1 cuando existe un evento geopolítico relevante (conflictos armados, invasiones, sanciones a grandes productores, etc.) y 0 en caso contrario. *Fuente:* Elaboración propia a partir del cruce de noticias económicas (BBC, Reuters, Bloomberg News) y reportes del Global Conflict Tracker (Council on Foreign Relations).

Media móvil del precio Brent (window = 30 días): Variable técnica que suaviza las fluctuaciones y ayuda a capturar tendencias a corto plazo. *Fuente:* Cálculo propio a partir de los datos de precio.

Tendencia temporal (variable de tiempo): Índice numérico para capturar el componente secular de crecimiento o caída en los precios del crudo. *Fuente:* Generada artificialmente como secuencia desde el primer valor observado.

Componentes estacionales y de ciclo: Variables calculadas mediante descomposición STL (Seasonal-Trend Decomposition using Loess), que permiten identificar la estacionalidad en el comportamiento de los precios. *Fuente:* Transformaciones estadísticas sobre la serie histórica del precio del Brent.

Eventos exógenos (dummy): Además de los shocks geopolíticos, se incluyen otras variables dicotómicas para marcar crisis financieras relevantes (ej. crisis de 2008, COVID-19 en 2020). *Fuente:* Elaboración propia en base a fechas históricas ampliamente documentadas.