

MEMORIA DEL TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL PRECIO DEL PETRÓLEO EN PRESENCIA DE CONFLICTOS SOCIALES

ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF OIL PRICES IN PRESENCE OF SOCIAL CONFLICTS

Autoría:

Fernando Gutiérrez Rojas-Flores con DNI: 78859218S

Farid Hubby Vega con DNI: 45895498X

Tutorizado por

Javier A. Barrios García

Grado en ECONOMÍA

FACULTAD DE ECONOMÍA, EMPRESA Y TURISMO

Curso Académico 2019 / 2020

En S/C de Tenerife a 4 de junio de 2020

RESUMEN

En este trabajo se analiza como los precios del petróleo se ven afectados por crisis económicas, financieras o sociales mediante el análisis de su evolución en 5 periodos de crisis, con un importante impacto en la economía mundial, como han sido: La guerra del golfo (1991), la crisis asiática (1997), los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001 en EE. UU., la crisis financiera global del 2008 y la crisis sanitaria del COVID-19. Para ello, hemos estudiado series de precios diarios de contratos spot y de futuros del petróleo Brent, de referencia en el mercado europeo, analizándose su volatilidad mediante modelos no lineales de la familia GARCH, tanto del tipo simétrico, como el propio GARCH, como asimétricos, usándose en este caso el EGARCH y el GRJ-GARCH. En este trabajo, se ha podido ver que los incrementos de incertidumbre provocados por las diferentes crisis estudiadas han impactado de forma importante en la evolución del precio del petróleo, mostrando como el mercado ha reaccionado de manera diferente dependiendo de la naturaleza de la crisis.

Palabras clave: Precios del petróleo, volatilidad, GARCH y crisis

ABSTRACT

This work analyzes how oil prices are affected by economic, financial or social crises by analyzing their evolution in 5 crisis periods, with a significant impact on the world economy, such as: The Gulf War (1991), the Asian crisis (1997), the terrorist attacks of September 11th 2001 in the U.S.A., the global financial crisis of 2008 and the health crisis of COVID-19. To this end, we have studied series of daily prices for spot contracts and futures for Brent oil, a benchmark in the European market, analyzing their volatility using non-linear models of the GARCH family, both of the symmetrical type, as well as GARCH itself, such as asymmetric, using in this case the EGARCH and the GRJ-GARCH. In this work, it has been seen that the increases in uncertainty caused by the different crises studied have had a significant impact on the evolution of the oil prices, showing how the market has reacted differently depending on the nature of the crisis.

Keywords: Oil prices, volatility, GARCH and crisis

Queremos agradecer a nuestros padres, familias, parejas, amigos y demás allegados ese apoyo incondicional que nos han brindado durante todos estos años de formación universitaria que concluyen con este trabajo.

También queremos agradecer a nuestro tutor la paciencia que ha tenido con nosotros, su inestimable ayuda, cercanía y claridad a la hora de guiarnos en la realización de este TFG, gracias por todo Javier.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. Introducción y antecedentes | 5 |
| 2. Datos y metodología | 9 |
| 2.1. Datos | 9 |
| 2.2. Metodología | 16 |
| 2.2.1. Modelo ARIMA-GARCH | 16 |
| 2.2.2. Modelo EGARCH | 17 |
| 2.2.3. Modelo GRJ-GARCH | 17 |
| 3. Resultados | 18 |
| 4. Conclusiones | 24 |
| 5. Bibliografía | 26 |
| Anexo | 28 |
| Gráficos | |
| Gráfico 1: Mapa de los países con reservas probadas de petróleo | 6 |
| Gráfico 2: Precio contratos Spot y de Futuros del petróleo Brent | 9 |
| Gráfico 3: Rentabilidad de contratos Spot y de Futuros del petróleo Brent | 10 |
| Gráfico 4: Volatilidad diaria de los contratos Spot y de Futuros del petróleo Brent | 11 |
| Tablas | |
| Tabla 1: Estadísticos de la rentabilidad del petróleo Brent | 12 |
| Tabla 2: Estadísticos de precios del petróleo Brent Spot (20/05/1987-04/05/2020) y de Futuros (17/03/1993-04/05/2020) estudiados | 28 |
| Tabla 3: Estadísticos de los rendimientos diarios de la serie spot (20/05/1987-04/05/2020) | 29 |
| Tabla 4: Estadísticos de los rendimientos diarios de la serie de Futuros (20/05/1987-04/05/2020) | 30 |
| Tabla 5: Estimaciones de los diferentes modelos GARCH para la serie spot (20/05/1985-04/05/2020) | 31 |
| Tabla 6: Estimaciones de los diferentes modelos GARCH para la serie de futuros (20/05/1985-04/05/2020) | 32 |
| Tabla 7: Estimaciones del modelo AR(1)-GJR-GARCH(1,1) con distribución GED de la serie spot para los periodos de crisis | 33 |
| Tabla 8: Estimaciones del modelo AR(1)-GJR-GARCH(1,1) con distribución GED de la serie de futuros para los periodos de crisis | 34 |

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El petróleo es una materia prima de importancia capital en todos y cada uno de los procesos productivos de la economía mundial, en un contexto de difícil sustitución a muy corto plazo, presenta un patrón de demanda inelástico, por lo que su precio es una cuestión crítica que los analistas siguen de cerca por los efectos que puede tener en el conjunto de la economía.

El precio del petróleo tiene una gran exposición al ciclo económico, lo que refleja la gran correlación entre la evolución de la economía mundial y su precio en los mercados, dándose una bajada de los precios en sintonía con la bajada de la actividad económica, algo lógico, debido a que la reducción de dicha actividad reduce la demanda de petróleo, por esa razón, la evolución del precio es un termómetro o indicador adelantado de agotamiento del ciclo que se puede usar para predecir una posible recesión en el horizonte. El precio de esta materia prima afecta directamente a la actividad económica dependiendo del papel del país, ya sea exportador o importador neto. Si un país es exportador, le interesará un precio alto ante la falta de bienes sustitutos y la naturaleza inelástica del consumo, por lo que sus exportaciones valdrán más el mercado. Sin embargo, para un país importador, un precio alto puede suponer un efecto perjudicial en su economía, incrementando los costes productivos, el precio del combustible al consumidor final y, en definitiva, encareciendo todos y cada uno de los bienes y servicios que se presten en el país, pudiendo producir crisis sociales y económicas.

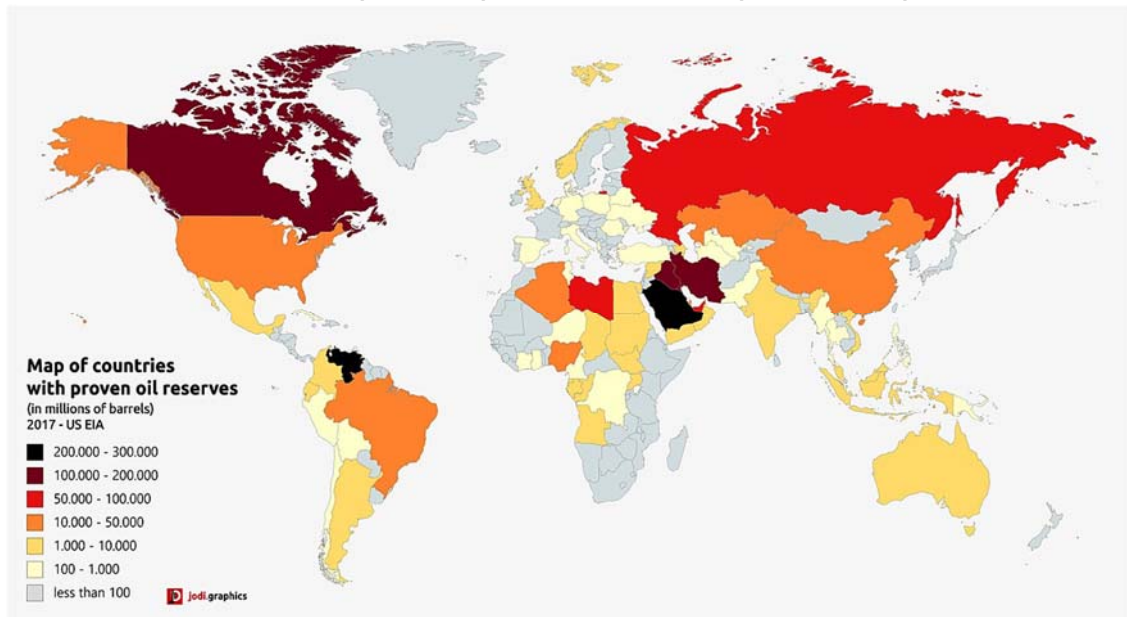
Este recurso natural presenta un comportamiento muy volátil en la evolución de su precio, negociado en los mercados de materias primas. El comportamiento de la cotización está estrechamente ligado, no sólo a la evolución de la economía, si no también a eventos políticos, cambios normativos o conflictos bélicos (Wang y Sun, 2017) que lo hace muy sensible a variaciones en el precio, lo que se traduce en un comportamiento muy volátil de su cotización.

El mercado internacional de petróleo tiene dos grandes referencias, por un lado, tenemos el petróleo West Texas Intermediate (WTI), de referencia en los Estados Unidos y, por otro lado, el petróleo Brent, de referencia en Europa y prácticamente en el resto del mundo. En este trabajo hemos analizado a través dos tipos de contratos, los spots y los de futuros, la evolución del precio del petróleo Brent debido a la proximidad e importancia que tiene en la economía europea. El primero de estos, los spots, se caracterizan por su liquidación a corto plazo, dos días después de cerrar la operación, lo que permite la compra de cierta cantidad de petróleo al precio de cotización del día, siendo estos extremadamente sensibles a noticias, eventos o conflictos que pueden afectar a la producción o el consumo de este y con ello a su cotización. Los segundos, los futuros, se caracterizan por acordar de antemano, el precio y la cantidad de petróleo a entregar en una fecha futura acordada hoy, siendo el contrato de obligado cumplimiento para ambas partes. Este tipo de contratos tiene multitud de usos para los agentes económicos, pudiendo ser utilizados como cobertura ante la incertidumbre de la evolución del precio en el futuro, ya sea por el lado productor para asegurarse un precio de venta o por el lado comprador para asegurarse un precio de compra, ante la previsión de que los precios sean más altos en el futuro de los que pueda negociar.

Cómo se puede ver en el gráfico 1, la distribución de las reservas petrolíferas a nivel mundial y los productores de petróleo están concentrados en algunos países que tienen particularidades internas que afectan al precio mundial, siendo en un importante porcentaje respecto al total, países

con altos niveles de inestabilidad política, inseguridad, economías débiles y poco diversificadas o con bajo nivel de desarrollo, en los que un conflicto, de fácil ocurrencia, en un país de estas características, podría afectar enormemente al mercado del petróleo, reduciendo su producción drásticamente y subiendo los precios de forma muy agresiva, como ocurrió en la guerra del Golfo en 1991, desarrollándose este conflicto en la región del mundo donde se concentra un gran porcentaje de las reservas petrolíferas existentes y un gran número de productores de petróleo con altas cuotas de mercado (Zavadska et al, 2020).

Gráfico 1: Mapa de los países con reservas probadas de petróleo



Fuente: U.S. Energy International Agency. Autor: Jo Di Graphics

Pero no sólo una crisis en un país productor puede afectar enormemente el precio, ya que una crisis económica que provoque un shock negativo y agudo de demanda de petróleo en un gran consumidor mundial, cómo puede ser Estados Unidos o los países desarrollados, podría afectar al precio, bajándolo significativamente, como se pudo ver en la larga crisis financiera de 2008, donde los precios bajaron agresivamente en el 2009 y parte del 2010. Esto pone de manifiesto cómo la actividad económica está intrínsecamente relacionada con la evolución del precio.

En este trabajo se ha pretendido analizar el efecto que tienen las crisis de carácter social, económico, político o de naturaleza bélica en la cotización del precio del petróleo en los mercados, con el objetivo de ver como están correlacionados la ocurrencia de conflictos o eventos con cambios bruscos en la cotización del precio. El aporte que hace este trabajo, respecto a los precedentes, radica en el análisis de los efectos que ha tenido la todavía presente crisis sanitaria del COVID 19 en los precios del petróleo Brent. Con ese fin, hemos analizado la volatilidad de dos series temporales de rentabilidades del petróleo Brent, concretamente, la de contratos spot y de futuros, ante diferentes crisis experimentadas a lo largo del periodo estudiado, que comprende desde el 20 de mayo de 1987 al 4 de mayo de 2020 para los precios de los contratos spot y desde el 4 de marzo de 1993 hasta el 4 de mayo de 2020 para los contratos de futuros.

Sí atendemos a las series de precios de activos financieros, es frecuente observar como se alternan períodos donde las pequeñas y grandes variaciones en los precios se alternan, es decir, las volatilidades tienden a agruparse en el tiempo (Lütkepohl y Krätzig, 2005, pg. 197). Para intentar reflejar esta regularidad empírica, Engle (1982) introduce los modelos ARCH donde se admite que la varianza condicional del término de error cambie con el tiempo como una función lineal de los cuadrados de los errores pasados, permaneciendo constante la varianza incondicional. Posteriormente, Bollerslev (1986) introduce una generalización de estos, el modelo GARCH simple, en el que hace ahora depender esta varianza condicional adicionalmente de una función lineal de las propias varianzas condicionadas en los períodos anteriores, argumentándose que de esta forma se permite un mejor ajuste de los datos y un mecanismo de "aprendizaje" más plausible que el del propio modelo ARCH. Más adelante, Nelson (1991) introduce los modelos EGARCH, donde formula, para la varianza condicional, un modelo que no se comporta de forma simétrica ante perturbaciones positivas y negativas, recogiendo así una posible nueva característica de la volatilidad para los precios de los activos en los mercados financieros. Finalmente, Glosten, Jagannathan y Runkle (1993) proponen un nuevo modelo, el GJR-GARCH, que permite una respuesta cuadrática de la volatilidad ante shocks asimétricos del mercado, con diferentes coeficientes para las malas y las buenas noticias.

Entre otros muchos, los principales antecedentes de este trabajo en cuanto al análisis de la evolución de los rendimientos de precios del petróleo son Wei et al. (2010) y Charles y Darné (2017). Por una parte, en Wei et al. (2010) utilizan varios tipos de modelos autorregresivos generalizados condicionalmente heterocedásticos incluyendo el GARCH, EGARCH y GJR-GARCH anteriormente reseñados, para capturar las características de volatilidad de dos mercados de petróleo crudo: el Brent y el West Texas Intermediate. Los autores encuentran que ninguno de los modelos empleados supera completamente al resto en capacidad predictiva, siendo, sin embargo, los modelos GARCH asimétricos los que exhiben mejor capacidad de pronóstico, y especialmente en períodos de tiempo más largos (5 a 20 días para datos diarios).

Por otro lado, Charles y Darné (2017) analizan los modelos de volatilidad y sus capacidades de pronóstico en presencia de saltos en dos mercados de petróleo, el Brent y el West Texas Intermediate, en un periodo comprendido entre el 6 de enero de 1992 y el 31 de diciembre de 2014. En este trabajo, se comparan para la serie de rendimientos, diferentes modelos tipo GARCH, caracterizados por capturar los efectos a corto plazo de la volatilidad, así como las asimetrías de esta, usando, no solo el GARCH, si no también, el GJR-GARCH y EGARCH. Los autores encuentran que los modelos asimétricos estimados con rendimientos filtrados por determinadas técnicas proporcionan mejores pronósticos que los mismos modelos estimados con series de retornos sin procesar.

Con respecto al estudio de la incidencia de crisis o conflictos sociales sobre el precio del petróleo, nuestras referencias fundamentales han sido Noguera-Santaella (2016) y la más reciente de Zavadzka et al. (2020). Noguera-Santaella (2016) nos muestra la relación entre diferentes conflictos y los precios del petróleo, estudiando como estos se reflejan en el precio mediante el uso de los modelos ARMA y GARCH. Para este propósito, utiliza datos mensuales desde 1859 para estudiar el efecto de 32 eventos geopolíticos diferentes en los precios del petróleo. Los eventos considerados van, desde la Guerra Civil Estadounidense hasta la Primavera Árabe, estudiándose los efectos tanto sobre la media de los precios petrolíferos como sobre su volatilidad. Finalmente

llega a la conclusión de que los eventos geopolíticos afectaron positivamente a los precios del petróleo antes del año 2000, pero han tenido poco impacto después de esa fecha.

Por último, Zavadska et al. (2020) analizan la volatilidad de los precios spot y de futuros del petróleo durante cuatro grandes crisis que afectaron significativamente los mercados petroleros: La guerra del Golfo, la crisis asiática, los ataques terroristas en Nueva York del 11 de septiembre de 2001, y la pasada crisis financiera global. Para ello, emplea modelos simétricos de tipo GARCH simple y también el modelo asimétrico GJR-GARCH¹. Como indican Zavadska et al (2020): *"Los resultados de este estudio muestran que durante los períodos de interrupciones directas de la oferta/demanda de petróleo (como las que tuvieron lugar durante la guerra del Golfo y el período de ataque terrorista de los Estados Unidos en 2001), la serie exhibió picos de mayor volatilidad. Esto se compara con el comportamiento de la volatilidad durante las crisis financieras asiáticas y globales que tuvieron un impacto indirecto en el mercado petrolero, a través de los mercados financieros, donde se produjo una mayor persistencia de volatilidad. En consecuencia, la naturaleza de la crisis desempeña un papel importante en la determinación del comportamiento de los precios spot y futuros del petróleo y sus efectos duraderos en términos de niveles prolongados de incertidumbre. Como tal, los actores relevantes del mercado deben ser conscientes de que el desencadenante de la crisis puede conllevar diferencias significativas en la magnitud de la reacción de los precios del petróleo ante el shock del mercado. Los shocks relacionados con la oferta y la demanda están asociados con mayores niveles de incertidumbre, mientras que las crisis económicas y financieras exhiben niveles más largos de persistencia"*.

La estructura de este trabajo está dividida en 4 secciones: datos y metodología, resultados, conclusiones y anexos. La segunda sección, datos y metodología, se centra en analizar los datos y la metodología utilizada en este trabajo, para ello, se estudian en profundidad las series de precios, comentando sus características y se realizan transformaciones en las series para adecuarlas a la modelización. En esta sección, se analiza tanto el precio, como los rendimientos de las 2 series en el periodo completo de estudio y también en los sub periodos de crisis considerados para, acto seguido, explicar detalladamente los modelos que hemos utilizado en este trabajo, junto a sus características. En la sección tres, resultados, analizamos en primer lugar las estimaciones obtenidas para el período completo de estudio y contrastamos cuál es el modelo, que, a nuestro entender, recoge mejor el comportamiento de las dos series investigadas. Posteriormente, usamos ese modelo para analizar cada uno de los períodos de crisis descritos en la sección dos. En la sección cuatro, conclusiones, se sintetizan las principales conclusiones obtenidas de los resultados alcanzados, y finalizamos con un anexo en el que recogemos las principales tablas de resultados.

¹ Aunque Zavadska et al. (2020) denomina a este modelo TGARCH, como otros autores (véase por ejemplo Tsay, 2010, pág. 149), debido al modelo Threshold-GARCH introducido por Zakoian (1994), aquí optamos, como tantos otros, por denominarlo GJR-GARCH, que es el que modela la varianza condicional de los errores como función lineal de los valores pasados de los cuadrados de los errores y de la propia varianza condicional, mientras que entendemos se debe reservar el término TGARCH, en la línea de Zakoian (1994), para los que modelan la desviación típica condicional en lugar de la varianza (Bollerslev et al, 1994).

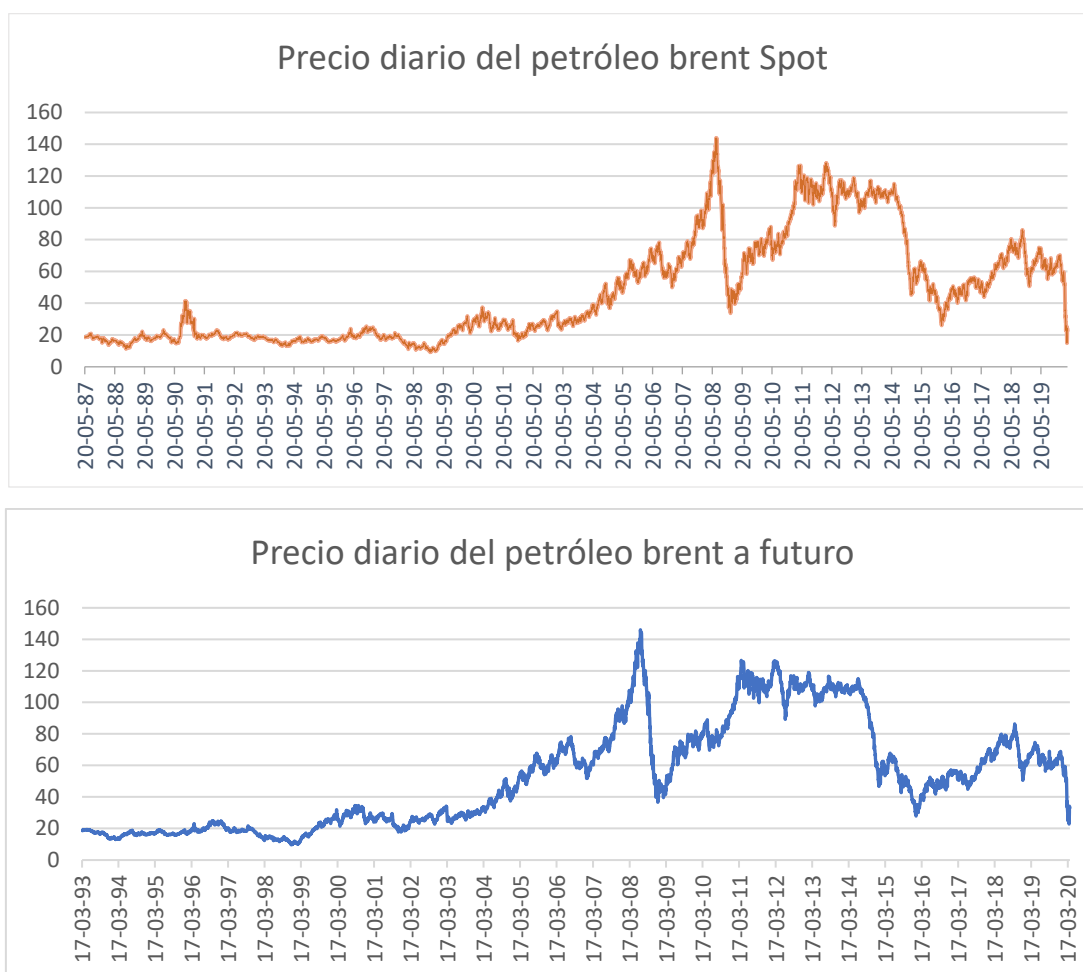
2 DATOS Y METODOLOGÍA.

2.1. Datos

En este trabajo, se han usado series diarias de precios, en dólares estadounidenses por barril, de contratos spot (P_t) y de futuros (F_t) de petróleo Brent, siendo este de referencia en los mercados europeos, donde cotiza en el International Petroleum Exchange de Londres, a diferencia, del West Texas Intermediate (WTI), de referencia en los EE. UU. donde cotiza en el New York Mercantile Exchange de Nueva York. Los datos usados se han obtenido a partir de la US Energy Information Administration (2020) e ICE (2020). Las series de precios abarcan, para los contratos spot (P_t), desde el 20 de mayo de 1987 al 4 de mayo de 2020 en donde el precio abarcó entre los 9,10 a 143,95 dólares estadounidense por barril; y desde el 17 de marzo de 1993 hasta el 4 de mayo del 2020 en el caso de los contratos de futuros (F_t) en donde los precios abarcaron un rango desde 9,64 a los 146,08 dólares.

Como se puede ver en el gráfico 2, donde se representan las dos series de precios utilizadas en el periodo estudiado, ambas presentan un claro comportamiento no estacionario con una clara tendencia temporal en donde la varianza y la media no parecen presentar valores constantes en el tiempo, algo común en las series de datos financieros (Bollerslev et al, 1994, Lütkepohl y Krätzig, 2004, Tsay, 2010).

Gráfico 2: Precio contratos Spot y de futuros del petróleo Brent



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de US Energy Information Administration (2020) e ICE (2020)

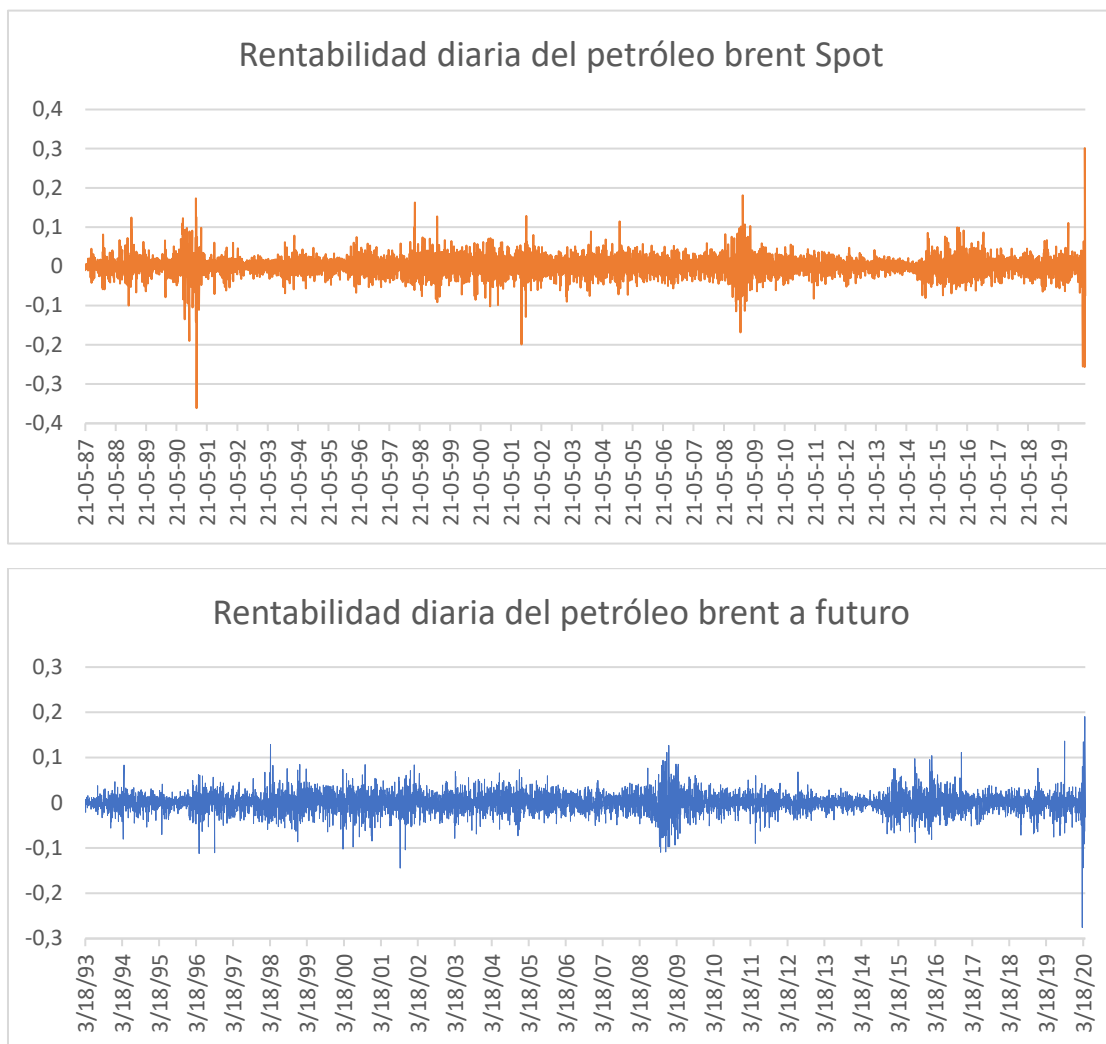
La característica principal de las series financieras es que son procesos estocásticos no estacionarios, lo cual imposibilita su modelización directa usando la metodología Box-Jenkins, y por ello se debe proceder a realización, previamente, de transformaciones de la serie original con el objetivo de convertirla en estacionaria. La transformación logarítmica (Lütkepohl y Krätzig, 2004; Tsay, 2010) produce un cambio de escala, que genera una reducción de la amplitud de la variabilidad. Adicionalmente, si aplicamos primeras diferencias a la transformación logarítmica obtendremos una aproximación a la rentabilidad de la serie, es decir:

$$r_t = \log(y_t) - \log(y_{t-1}) = \log\left(\frac{y_t}{y_{t-1}}\right)$$

la cual es frecuentemente utilizada en la literatura que analiza la evolución temporal de los precios de activos financieros (Bollerslev et al, 1994, Lütkepohl y Krätzig, 2004, Tsay, 2010), y en particular en la que estudia los precios petrolíferos (Wei et al, 2010, Noguera-Santaella, 2016, Charles y Darné, 2017, Zavadska et al, 2020).

En el gráfico 3 se puede observar la representación de ambas series de rentabilidades diarias.

Gráfico 3: Rentabilidad de contratos Spot y de futuros del petróleo Brent



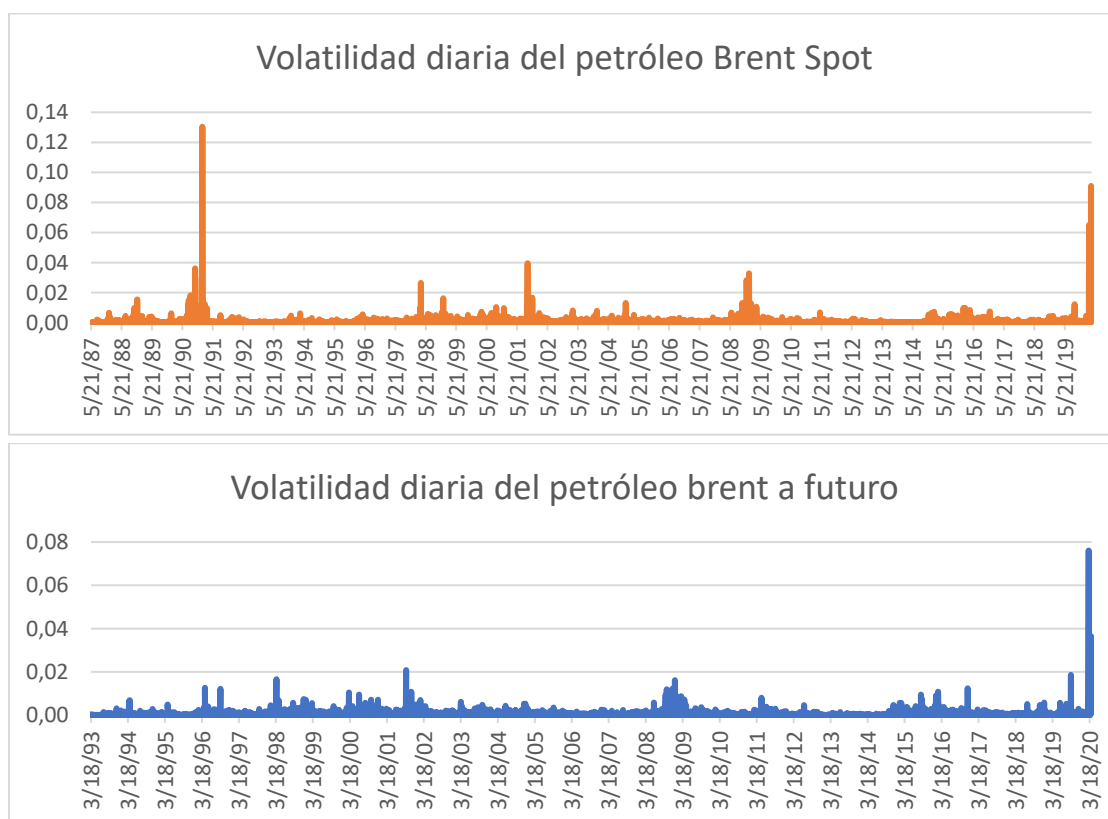
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de US Energy Information Administration (2020) e ICE (2020).

Como se puede ver en el gráfico 3, a diferencia de las series de precios (gráfico 2), las series de rendimientos diarios no presentan tendencia, teniendo una media en torno a 0, donde la volatilidad se ha reducido considerablemente, como se puede ver en los valores de las varianzas de ambas series (tabla 1). Además, vemos como hay presencia de importantes cambios en los rendimientos en periodos puntuales, seguidos de periodos donde los cambios son menos acusados, este fenómeno es conocido como agrupamiento de la volatilidad (volatility clustering en el término anglosajón, véase Bollerslev et al 1994, Lütkepohl y Krätzig, 2004, Tsay, 2010).

Para comprobar la estacionariedad de las series de rentabilidades procedemos a realizar un contraste de raíz unitaria, materializado en el contraste aumentado de Dickey-Fuller (ADF) (Lütkepohl y Krätzig, 2004, pp. 54-57). El ADF consiste en un contraste de hipótesis en donde la hipótesis nula (H_0) refleja la existencia de raíz unitaria, lo que se traduciría en que la serie no sería estacionaria, frente a la hipótesis alternativa (H_1) de presencia de estacionariedad en la serie. Para la realización del ADF, se toman para el modelo un máximo de 20 retardos en el contraste, sin constante ni tendencia, seleccionándose hacia abajo el óptimo de retardos con criterio de información bayesiano (BIC), tal y como incluye GRETL, que es el software econométrico empleado a lo largo de todo este trabajo (GRETL, 2020, Cottrell y Lucchetti, 2020). Los resultados del contraste ADF, recogidos en la tabla 1, muestran que se rechaza la hipótesis nula de no estacionariedad al 1% de significación en ambos casos.

Ahora, el gráfico 4 recoge la representación de las series de rendimientos al cuadrado (volatilidad diaria), las cuales nos permiten tener una primera impresión del comportamiento dinámico de esta contrapartida empírica de las varianzas condicionadas de las rentabilidades.

Gráfica 4: Volatilidad diaria de los contratos Spot y de futuros del petróleo Brent



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de US Energy Information Administration (2020) e ICE (2020).

En este gráfico 4 se puede observar con mayor claridad la agrupación de las volatilidades (volatility clustering), alternándose períodos de alta volatilidad con otros de baja volatilidad. Si analizamos los picos de volatilidad, muchos coinciden con algunas de las grandes crisis estudiadas en Zavadská et al (2020). Mediante la comparación de las gráficas de ambas series, vemos que la serie spot ha soportado mucha más volatilidad que la serie de contratos de futuros, aunque, en ambas se puede ver al final de la gráfica, un importante pico de volatilidad que coincida con la actual crisis sanitaria del COVID-19.

En la tabla 1 a continuación, recogemos los principales estadísticos descriptivos de las dos series de rentabilidades estudiadas.

Tabla 1: Estadísticos de la rentabilidad del petróleo Brent

| Estadístico | Precios SPOT | Precios a futuro |
|-------------------------|--------------|------------------|
| Número de observaciones | 8.348 | 6.842 |
| Media | 2,3034e-05 | 8,2456e-05 |
| Desviación estándar | 0,023629 | 0,022013 |
| Mínimo | -0,36121 | -0,27575 |
| Máximo | 0,30161 | 0,19077 |
| Simetría | -0,60943 | -0,27194 |
| Ex. de curtosis | 18,788 | 8,1141 |
| ADF | -86,9653** | -86,8896** |
| JB | 123,03** | 18.853,9** |

Nota: ADF representa el contraste aumentado de Dickey-Fuller sin constante ni tendencia y elegido el retardo óptimo hacia abajo por el criterio de información bayesiano (Lütkepohl y Krätzig, 2004, pp. 54-57). JB representa el contraste de normalidad de Jarque-Bera (Lütkepohl y Krätzig, 2004, pp. 45-46). **: significativo al 1%. * significativo al 5%. Fuente: Elaboración propia.

Analizando los estadísticos de la tabla 1, vemos como ambas series de rendimientos presentan simetrías negativas, lo que se traduce, en que la mayoría de los rendimientos de ambas series se encuentran por debajo de la media, con lo que se puede concluir, que los rendimientos negativos, en el periodo estudiado, tienen más peso que los positivos, siendo esto más notorio en el caso de los de contratos spot. Por otro lado, vemos que ambas series presentan un importante exceso de curtosis, muy superior a 3, mostrando una distribución leptocúrtica y, en consecuencia, se dan rendimientos alejados de sus medias, y muy especialmente en la serie spot. Todo esto ha sido ratificado mediante el contraste de Jarque-Bera, rechazando en ambos casos al 1% de probabilidad la hipótesis nula consistente en que la serie presenta la simetría y el exceso de curtosis de una distribución normal, y aceptándose la no normalidad de la distribución de ambas rentabilidades. Además, observamos que las pérdidas sufridas por los rendimientos, en el periodo estudiado, llegaron a ser mayores en los contratos spot, que en los de futuros, concretamente un 36,12% frente al 27,75%, siguiendo el mismo patrón, en el caso de las ganancias máximas, anotando un 30,16% frente al 19,07%, respectivamente.

El objetivo principal de este trabajo es analizar la intensidad de los cambios en la evolución del precio del petróleo a lo largo de toda la serie, es decir, la volatilidad, y analizar la relación entre esta y la aparición de determinadas crisis socioeconómicas, en la línea de Noguera-Santaella (2016) o Zavadska et al (2020). Para ello, en las tablas 2, 3 y 4 del anexo estudiamos los estadísticos principales de las series de precios y rendimientos de los contratos spot y de futuros en cada uno de los períodos de crisis considerados, desagregándose cada uno de estos a su vez en períodos precrisis, crisis y postcrisis. Para ello tomamos exactamente los mismos períodos de crisis definidos en Zavadska et al (2020) y obtenidos en su caso mediante el test de cambio estructural de Bai-Perron (Bai y Perron, 2013) y además, utilizando GRETL (Luchetti y Schreiber, 2018), aplicamos dicho test al período posterior a la crisis financiera global, abarcando hasta el último día disponible a la fecha de realización de este TFG (desde el 02/01/2014 al 04/05/2020), dando como resultado, un cambio estructural debido a la crisis del COVID-19, que podríamos datar, analizando la media y la volatilidad, en torno al 24/01/2020 como período pre-crisis y al 09/03/2020 como inicio del período de crisis. Señalar, como se puede ver en la tabla 2, que el número de observaciones en la serie de precios, para ambos contratos, no coinciden debido a que los datos con los que trabajamos están incompletos.

Vemos, en líneas generales, que siempre son los contratos spot los que soportan mayor volatilidad, algo lógico por su naturaleza corto plazo, siendo mucho más sensibles a cambios por noticias o eventos. Sí analizamos los periodos de crisis estudiados, queda claro, que fueron los precios de los contratos de futuros registrados en la crisis financiera de 2008 los que mostraron el record de volatilidad de todas las crisis analizadas, como muestra su desviación típica, recogida en la tabla 2. Esto se explica, por la naturaleza del evento, una crisis financiera originada en EE. UU, que rápidamente, por las interconexiones mundiales con otros mercados, se propagó velozmente por todo el mundo, generando mucha volatilidad en multitud de mercados, incluido el petrolero, por su relación directa con la economía productiva y, la expectativas de falta de liquidez en el corto y medio plazo para el normal desarrollo de las actividades empresariales, el consumo ordinario o la inversión, junto con una subida, más que previsible, del desempleo, entre otras devastadoras consecuencias sociales y económicas. Por otro lado, vemos que los cambios menos agresivos en el precio se concentran en la guerra del golfo, sobre todo en los contratos de futuros, marcando la volatilidad mínima registrada, respecto a todos los periodos estudiados. Nótese, que el análisis puede ser impreciso en esta etapa por la disponibilidad limitada de datos de precios de los contratos de futuros, estando estos disponibles solo para la etapa posterior a la crisis de la guerra del golfo en adelante.

Analizando los mínimos que marcaron los precios en los diferentes periodos de crisis, vemos que las diferencias entre contratos son insignificantes, a excepción del periodo de la crisis sanitaria del COVID-19, donde la diferencia entre estos es importante, 9.12 dólares de los spots frente a los 19.33 dólares de los contratos de futuros. Este comportamiento, en ambos contratos, se justifica por la gran incertidumbre acerca de los efectos del virus en la economía global, que conforme pasa el tiempo, va causando grandes estragos en multitud de parcelas de la economía y en la práctica totalidad de países del globo, generando un shock negativo muy fuerte en todos los mercados, especialmente en el petrolero, por las expectativas a corto plazo de una bajada muy fuerte de demanda por parte de la práctica totalidad de agentes económicos, al reducirse drásticamente la capacidad de movilidad, consumo y, en definitiva, del normal funcionamiento de las economías.

Analizando los máximos registrados en los precios, vemos que siempre son los contratos spot los que registran mayores valores en comparación con los futuros, a excepción de la crisis financiera de 2008, dándose aquí, una importante diferencia a favor de los contratos de futuros. La explicación a esto podría ser, que en momentos de alta incertidumbre en el presente los inversores miran a los instrumentos financieros complejos, como son los derivados y, en especial, los contratos de futuros, como un instrumento sumamente atractivo y útil para diseñar estrategias de cobertura de las que refugiarse en momentos convulsos en los mercados, como fue esta crisis que azotó la primera y parte de la segunda década del S. XXI. Nótese, como las diferencias de precios entre contratos son mucho menores, en el caso de la crisis asiática y el 11S que en resto de periodos estudiados.

Cómo podemos ver, en la mayoría de las crisis estudiadas, la simetría positiva es la protagonista indiscutible, a excepción de los contratos de futuros de los periodos de la guerra del golfo y del 11S. Esto se traduce, en que las subidas de precio en los diferentes periodos tuvieron mayor presencia que las bajadas, siendo esta simetría más notoria en los contratos spot de la guerra del golfo. Por último, como es habitual en las series financieras, en ninguna crisis estudiada en este trabajo los precios se comportaron siguiendo una distribución normal, mostrando en la mayoría de los periodos, distribuciones platycúrticas en las que los precios no se alejaron mucho de sus medias. Llama la atención, qué en la Guerra del Golfo la distribución de precios presente un patrón claramente leptocúrtico, por un exceso de curtosis muy superior a 3, lo que rompe la dinámica general de los periodos estudiados y se traduce en que los precios de los contratos, en esta etapa, se alejaron mucho de su media.

Analizando los datos de las tablas 3 y 4, recogidas en el anexo, referentes a los estadísticos principales de la series de rendimientos de los contratos spot y de futuros, el nivel de volatilidad soportado por los rendimientos en el tiempo, recogidos por las desviaciones típicas, reflejan valores no muy alejados de los registrados en la totalidad de la serie, como recoge la tabla 1, exceptuando la crisis sanitaria del COVID-19, donde la volatilidad difiere importantemente de los valores registrados en todo el periodo, ya que, la intensidad, rapidez y propagación del virus, generó efectos económicos negativos a nivel global, lo que se tradujo, en un incremento muy agresivo de la volatilidad ante la incertidumbre y el desconocimiento de las reacciones que se generarían por parte de los gobiernos, ciudadanos y, en definitiva, por el conjunto de agentes económicos ante esta crisis sanitaria.

Por otro lado, el patrón que muestra la volatilidad, en los diferentes periodos de crisis, sigue una lógica financiera, incrementándose paulatinamente desde el periodo previo a la crisis para llegar a su punto más álgido en plena crisis y, posteriormente, reducirse en la poscrisis, al diluirse los efectos que la provocaban. Por último, señalar, que los rendimientos de los contratos spot soportaron, en líneas generales, más volatilidad que los de futuros, algo lógico por la naturaleza a corto plazo de estos, muy sensibles a variaciones que generen incertidumbre en el presente.

En lo que se refiere a las pérdidas registradas en los rendimientos de los contratos, vemos que fueron más acusadas en los contratos spot que en los futuros, algo que se puede ver, tanto para la serie entera (tabla 1), como para los periodos de crisis estudiados (tabla 3), registrando pérdidas que llegaron a ser del 36,12% para toda la serie, muy inferiores y lejanas a las del 64,3% registradas en la crisis del COVID-19. Este gran impacto en la crisis del COVID-19 se justifica, por

el gran shock negativo que experimentó la demanda de petróleo ante las medidas de confinamiento, adoptadas por la mayoría de estados, con el objetivo de parar la propagación del virus, lo que dificultó la movilidad drásticamente y con ello, la necesidad de combustible en el corto plazo, de ahí que esa gran pérdida experimentada por los contratos spot fuera mucho mayor que la registrada en el resto de grandes crisis estudiadas en este TFG. Con respecto a las pérdidas de los rendimientos de los contratos de futuros, recogidos en la tabla 4, vemos que, en líneas generales, registraron pérdidas menos acusadas en las diferentes crisis, si lo comparamos con toda la serie, llegando a ser estas del 27,58%, a excepción de las registradas durante la crisis del COVID-19, donde llegaron a ser del 27,9%, las más importantes registradas por parte de los contratos de futuros en todos los periodos estudiados. Además, vemos que la variación es mucho menos acusada en los contratos de futuros, en comparación con los spots, por el vencimiento a medio y largo plazo de estos, ya que los efectos negativos que afecten al mercado en el presente, como el shock de demanda negativo por la crisis del COVID-19 no tiene por qué darse al vencer ese contrato.

Sí se compara los rendimientos máximos de ambos tipos de contratos, para toda la serie (tabla 1) y para las diferentes crisis (tabla 3 y 4), los primeros presentan rendimientos inferiores en comparación a los recogidos en cualquiera de los periodos estudiados, registrando un 30,16% para la totalidad de la serie spot, muy alejado del 41,2%, siendo este, el máximo de todos los periodos estudiados y que se registró en plena crisis del COVID-19. Esta gran rentabilidad, obtenida por los contratos en la crisis del COVID-19, se puede explicar por las importantes fluctuaciones que tuvieron los precios en este periodo, dándose bajadas importantes seguidas de recuperaciones de precios de igual o mayor intensidad. Por otra parte, analizando los contratos de futuros, se aprecia que los valores registrados para la totalidad de la serie llegan a ser del 19,08%, superiores, en líneas generales, a cualquier periodo de crisis.

A grandes rasgos, como se puede ver en las tablas 3 y 4, los datos de la mayoría de los periodos estudiados presentan simetrías negativas, algo que coincide, como se puede ver en la tabla 1, con la totalidad de la serie. Hay que señalar, que la presencia de simetría negativa en la mayoría de los periodos se traduce, en que las pérdidas de rendimientos de los contratos, tanto para la serie entera, como para los periodos estudiados, tuvieron más peso que las ganancias, siendo esto más acusado en los contratos spot que en los de futuros. Es evidente, que si nos fijamos tanto en la tabla 1 como en la 3 y 4, para ambas series y en todos los periodos de crisis, en ningún caso, las distribuciones de los rendimientos presentan normalidad, dándose un exceso de curtosis en todos los casos, fenómeno común en las series temporales financieras. Además, si comparamos las distribuciones de los rendimientos en los diferentes periodos con la totalidad de la serie, vemos que en el segundo caso, los valores de curtosis son muy superiores a 3, mostrando distribuciones leptocúrticas con valores muy alejados de sus medias. Sin embargo, en los periodos de crisis estudiados, los rendimientos no reflejan siempre la misma distribución que la serie entera, mostrando como los contratos de futuros, en comparación con los spots, poseen un mayor número de distribuciones platicúrticas con valores de curtosis inferiores a 3, en oposición, a la mayor parte de contratos Spot que presentan distribuciones leptocúrticas en la práctica totalidad de crisis estudiadas.

2.2. METODOLOGÍA

2.2.1 Modelos ARIMA-GARCH

Los modelos ARIMA o modelos autorregresivos integrados de promedios móviles destacan por su simplicidad y practicidad en la modelización y pronóstico, caracterizándose por la combinación de un término autorregresivo (AR) de orden p , uno de media móvil (MA) de orden q y con un elemento diferenciador (I) de orden d (Granger, Joyeux (1980); Lütkepohl y Krätzig, (2004); Tsay (2010)). Además, señalar que un modelo ARIMA (p, d, q) no es más que un modelo ARMA (p, q) aplicado a una serie integrada de orden d , $I(d)$, a la que ha sido necesario diferenciar d veces para convertirla en estacionaria.

Si r_t representa la serie de rentabilidades, el modelo ARMA(p,q)-GARCH(r,s) normal viene dado por:

$$r_t = \mu_t + \varepsilon_t, \quad (1)$$

donde la media de la serie (μ_t) viene dada por un modelo ARMA(p,q):

$$\mu_t = \sum_{i=1}^p \phi_i r_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}, \quad (2)$$

En donde ϕ corresponde al coeficiente autoregresivo y θ al coeficiente de media móvil, ambos a determinar, mientras que el término de error (ε_t) ahora se admite heterocedástico, siguiendo un modelo GARCH(r,s) dado por:

$$\varepsilon_t = \sigma_t z_t, \text{ con } z_t \sim \text{iid } N(0,1) \quad (3)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^r \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^s \beta_j \sigma_{t-j}^2, \quad (4)$$

Donde ω representa la varianza de un periodo de tiempo inicial como término constante, además, la varianza condicional viene representada por σ_t^2 , que es dependiente de los valores previos del término de error ε_{t-1} y de la propia varianza. Cuanto mayor sea este error, mayor será la varianza en el siguiente periodo.

Por otra parte, para evitar que se den casos de estimaciones de la varianza condicional negativas y exista un proceso GARCH, los parámetros presentan restricciones de no negatividad tal que, $\beta > 0, \alpha > 0, \omega > 0$, junto con la condición de que $\alpha + \beta < 1$, debido a que la suma de los términos ARCH y GARCH cuantifica el nivel de persistencia de la volatilidad a largo plazo, que es condición suficiente para asegurar la existencia de un proceso estrictamente estacionario y ergódico

Alternativamente a la distribución normal en (3) se suelen utilizar otras distribuciones para aproximar mejor el comportamiento leptocúrtico o asimétrico que aparece con frecuencia en las series de rentabilidades financieras, como es el caso de la t de Student, la t de Student asimétrica o la distribución de error generalizada (GED) (véase Lütkepohl y Krätzig, 2014, pp. 204-206).

En la práctica, el modelo GARCH (1,1) se ha mostrado más que suficiente para la modelización en la mayoría de las situaciones aplicadas y, concretamente, para el caso del petróleo (Bollerslev et al, 1994, Sadorsky, 2006, Wei et al, 2010. Charles y Darné, 2017), viniendo determinado como caso particular de las ecuaciones anteriores sustituyendo (4) por:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (5)$$

2.2.2. Modelo EGARCH

Nelson (1991) propone una variante del modelo GARCH, llamado EGARCH (p,q) o modelo exponencial generalizado autorregresivo condicionalmente heterocedástico. Este modelo refleja el efecto de asimetría, que no tiene en cuenta los modelos ARCH/GARCH. Este efecto de asimetría recibe el nombre de apalancamiento (Leverage effects) y ha sido ampliamente estudiado por la literatura financiera, en concreto, por la econometría financiera (Bollerslev et al, 1994).

Según Nelson (1991), Glosten et al (1993), Engle y Ng (1993), entre otros, los modelos GARCH no reflejan la naturaleza de la volatilidad de los activos financieros, ya que no tienen en cuenta el comportamiento asimétrico propio de la volatilidad mostrado por la rentabilidad de las series financieras, debido a que la volatilidad en los modelos GARCH depende de cuadrado de los errores, por lo que esta se ve afectada de forma simétrica ante innovaciones positivas y negativas, escenario que no se da en la realidad de las series de financieras. Esto es debido, a que la volatilidad presenta, frecuentemente, un comportamiento asimétrico caracterizado por no reaccionar de la misma manera frente a un evento o noticia positiva que frente a una negativa.

Para incluir este efecto asimétrico, Nelson (1991) propone el modelo EGARCH (1,1) el cual sustituye la ecuación (5) anterior por la siguiente:

$$\log(\sigma_t^2) = \omega + \alpha(|\varepsilon_{t-1}|) + \gamma \varepsilon_{t-1} + \beta \ln \sigma_{t-1}^2 \quad (6)$$

Dada la especificación de (6) en términos del logaritmo de la varianza condicional, esta será positiva sin necesidad de imponer restricciones a los valores de los parámetros, siendo el término de error estacionario siempre que $\beta < 1$. En este modelo, el efecto de apalancamiento sobre la volatilidad es recogido por α (efecto de magnitud) y γ (efecto de signo). Así, por ejemplo, si $\gamma < 0$, el cual es un caso frecuente en la práctica, los shocks negativos generan una mayor volatilidad que los shocks positivos de la misma magnitud.

2.2.3. Modelo GJR-GARCH

Glosten, Jagannathan y Runkle (1993) propusieron el modelo GJR-GARCH, que permite también incorporar el efecto de apalancamiento sobre las volatilidades, admitiendo un comportamiento asimétrico de las innovaciones. En concreto, ahora en el modelo GJR-GARCH (1,1) se sustituye alternativamente la ecuación (5) por la siguiente:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma I(\varepsilon_{t-1} < 0) \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (7)$$

Este modelo es una extensión del GARCH, con un termino adicional, I , que representa la función indicadora de Heaviside, que es igual a 1 si $\varepsilon_{t-1} < 0$ y que toma valor nulo en el resto de los casos. Este parámetro, único en el GJR-GARCH, implica que las noticias negativas tienen un

impacto sobre la varianza condicional de magnitud $\alpha + \gamma$, mientras que el impacto de las noticias positivas tiene magnitud α . Nótese, que el efecto apalancamiento se da, a diferencia del EGARCH, cuando $\gamma > 0$, y que la varianza condicional es positiva siempre que: $\omega > 0, \alpha > 0, \beta \geq 0$, y $\alpha + \gamma \geq 0$. Es decir, el modelo seguiría siendo admisible, incluso si $\gamma < 0$, siempre que $\alpha + \gamma \geq 0$. Además, el término de error será estacionario siempre que $(\alpha + \beta + \frac{\gamma}{2}) < 1$.

3. RESULTADOS

En esta sección se recogen los resultados de las estimaciones de los parámetros para las especificaciones de la media y la varianza de los diferentes modelos usados, explicados en la sección dos, junto con sus pruebas de diagnóstico para los residuos estandarizados. La estimación de los parámetros, para los diferentes modelos, se ha realizado sin constante para la parte auto regresiva de la media, dado que ambas rentabilidades tienen media próxima a cero, y con estimaciones robustas. Con esta configuración, hemos obtenido los resultados recogidos en la tabla 5, 6, 7 y 8 de los anexos. En ellas, se pueden ver las estimaciones de los modelos, tanto para las series de rendimientos spot, como para la de contratos de futuros, a lo largo del periodo completo de estudio (tablas 5 y 6 respectivamente), así como, las estimaciones del modelo que acomoda mejor los datos de las tablas anteriores y que es utilizado posteriormente para analizar cada uno de los períodos de grandes crisis considerados (tablas 7 y 8).

Se debe advertir, que en algunos casos ha resultado imposible obtener estimación por parte del programa, debido a que nos hemos encontrado que el software utilizado, el GRET, nos mostraba que no se alcanzaba el criterio de convergencia en 2 sub periodos de la crisis sanitaria del COVID-19, concretamente, la pre-crisis en el caso los contratos spot y la crisis en caso de los contratos de futuros, como se puede ver en las tablas 7 y 8 respectivamente, seguramente debido al escaso número de observaciones consideradas.

Dicho esto, el proceso ha comenzado por la estimación de los modelos explicados en la sección dos, para ambas series y utilizando alternativamente la distribución normal, t de Student, t de Student asimétrica (skewed) y la distribución de errores generalizados (GED). La estimación para las diferentes distribuciones se justifica debido a que las series de rentabilidades del petróleo usadas presentan, como vimos en la sección 2, no-normalidad en sus distribuciones.

Para la modelización de la media de la serie elegimos un AR (1) que es el modelo que mejor valor del criterio BIC mostró (en contraposición al criterio AIC que tendía a la sobreparametrización, véase Koehler y Murphree, 1988) en una comparación de ARMA(p,q), para $p \geq 0$ y $q \leq 6$, habiéndose elegido 6 retardos como máximo atendiendo a sus correlogramas y específicamente a la escasa magnitud de las autocorrelaciones superiores. A modo comparativo incluimos en las tablas 5 y 6 las estimaciones obtenidas tanto para el GARCH(1,1), que admite nula la media, como para el AR(1)-GARCH(1,1). A continuación de estos dos modelos simétricos, incluimos en ambas tablas, las estimaciones para sus alternativas asimétricas AR(1)-EGARCH(1,1) y AR(1)-GJR-GARCH(1,1), todos ellos estimados para las cuatro distribuciones mencionadas (normal, t de Student, t de Student asimétrica y GED) a efectos comparativos.

Podemos observar, que, por norma general, las estimaciones de los parámetros para los diferentes modelos son significativas al 1% y, además, los parámetros relacionados con la ecuación de varianza condicional, en los diferentes modelos, muestran, que, de forma exitosa, consiguen capturar los patrones de la varianza condicional de naturaleza dinámica. Como se puede observar, los resultados para los coeficientes de los términos ARCH, recogidos en los valores de α en ambas tablas (5 y 6), presentan valores positivos, abarcando un rango, para las series spot, entre 0,064 y 0,175, y, para la serie de futuros, entre 0,048 a 0,132. En relación con los resultados de la estimación, para los coeficientes GARCH o β , los contratos spot muestran un rango entre los 0,916 a 0,990 y los de futuros, entre 0,929 a 0,994. Estos resultados son de importancia, porque sí analizamos los valores β , se puede apreciar que son muy próximos a 1, lo que indica, en ambas series, una importante y persistente volatilidad a largo plazo, siendo esta ligeramente mayor en los contratos de futuros. Esto se traduce, en que los shocks por innovaciones positivas o negativas tendrán un impacto permanente y altamente persistente en el mercado de petróleo.

Por otro lado, se aprecia en ambas series, para cualquier nivel de significación, que las volatilidades condicionales no responden igual a noticias positivas que a negativas de similar magnitud, como recogen los valores de γ , asociado con la volatilidad asimétrica. Este fenómeno, recogido por los modelos asimétricos (EGARCH y GJR-GARCH) se denomina, como vimos anteriormente, efecto apalancamiento, y se traduce en un impacto asimétrico que tienen las noticias en el mercado del Brent, de diferente signo y similar magnitud, sobre los rendimientos, como se menciona en Wei et al (2020). Como se puede apreciar en las tablas 5 y 6, los valores de γ muestran valores significativamente distintos de cero, siendo ligeramente superiores en términos absolutos en el caso de los contratos de futuros, por lo que estos responderán a noticias negativas con una intensidad levemente mayor, en comparación, con la reacción que tendrían por esas noticias los contratos spot.

Centrándonos ahora en el análisis de las pruebas de diagnóstico, recogidas en las tablas 5 y 6, analizamos fundamentalmente los resultados de seis indicadores: los valores del Log-likelihood (LL), de los criterios de información bayesiano (BIC) y de Akaike (AIC), las pruebas sobre los residuos estandarizados simples y al cuadrado y la prueba LM para ver el efecto ARCH sobre los residuos, con el fin de evaluar cual es el mejor modelo y usarlo para estudiar el comportamiento de la media y volatilidad condicionada en los periodos de crisis analizados en este trabajo. La comparación de los modelos de predicción de la volatilidad puede estar influenciada por el criterio utilizado, por ello tratamos de utilizar una evaluación en conjunto para estos cinco indicadores. Para las rentabilidades spot (tabla 5), sí atendemos primero al análisis de residuos para validar los modelos, observamos que sólo los modelos AR(1)-GARCH(1,1) y el AR(1)-GJR-GARCH(1,1), ambos con distribuciones normal y GED, rechazan al menos al 5% de probabilidad que los residuos estandarizados y sus cuadrados estén autocorrelacionados ($Q(10)$ y $Q^2(10)$), y también que sean heterocedásticos (LM(10)). El resto de modelos rechaza siempre alguna de las hipótesis nulas en alguno de estos tres contrastes al menos al 5% de probabilidad. Por tanto, ambos modelos se validan frente a los demás respecto del análisis de sus residuos estandarizados. Por otro lado, si comparamos en criterios de información estos dos modelos, claramente el AR(1)-GJR-GARCH(1,1) con distribución GED conlleva mayores valores del log-likelihood y menores AIC y BIC. Por tanto, llegamos finalmente a que es este modelo el que

representa mejor el comportamiento dinámico de las rentabilidades spot para todo el período de estudio. En el caso de rentabilidades de futuros (tabla 6) una discusión análoga nos lleva a que es también el modelo AR(1)-GJR-GARCH(1,1) el que mejor refleja la dinámica de volatilidades para todo el horizonte temporal analizado. Los resultados de ambos modelos aparecen señalados en **negrita** en las tablas 5 y 6.

Una vez analizadas las pruebas de diagnóstico de los modelos, procedemos a seleccionar el modelo que usaremos para analizar el comportamiento de la media y la volatilidad condicional en los diferentes periodos de crisis estudiados en Zavadska et al (2020) y en la crisis sanitaria del COVID-19. Sabiendo que el AR (1) – GJR-GARCH (1,1) con distribución GED es el mejor para analizar el comportamiento de la media y varianza condicional en toda la serie, procedemos a estimarlo para los 4 periodos de crisis analizados en Zavadska et al (2020), y también adicionalmente para la actual crisis sanitaria del COVID-19 considerando en este caso hasta los últimos datos disponibles al tiempo de realizar este TFG.

Los resultados obtenidos en este sentido se recogen en la tabla 7 y 8 para las rentabilidades spot y de futuros, respectivamente. Como norma general se validan todas las estimaciones realizadas en cada uno de los períodos considerados mediante los tres estadísticos recogidos en la columna de análisis de los residuos (Q(10), Q²(10) y LM(10)). Por otra parte, también como cabría esperar, si analizamos los resultados de las estimaciones para las cuatro grandes crisis estudiadas también en Zavadska et al (2020), llegamos a idénticas conclusiones. No se confirma el efecto de apalancamiento (estimación de gamma) al menos al 5% de probabilidad en ninguna de las dos rentabilidades durante las tres primeras crisis examinadas que tenían más que ver con perturbaciones en la oferta petrolífera: Guerra del Golfo, crisis asiática y atentados del 11S. Por el contrario, este efecto de apalancamiento se demuestra altamente significativo y positivo al menos al 1% de probabilidad en la crisis financiera global, caracterizada por ser fundamentalmente una perturbación de demanda.

Resulta sin embargo de interés los resultados obtenidos para la actual crisis del COVID-19, intrínsecamente diferente a todas las anteriores en cuanto a que mezcla importantes dosis de perturbaciones tanto en la parte de la oferta como de la demanda de petróleo. En este caso, a pesar de la limitación dado el corto período de estudio empleado, no se confirma el efecto de apalancamiento en la rentabilidad spot, pero a cambio este se muestra altamente significativo y positivo con una alta magnitud en media (1,327 frente a 0,034 en la crisis financiera de 2008) al menos al 1% de probabilidad en el caso de la rentabilidad de futuros. Por tanto, cabe destacar que la evidencia apunta a que en la crisis del COVID-19 las noticias negativas tienen mucho mayor impacto en la volatilidad del mercado de futuros del petróleo que las noticias positivas, no apreciándose este efecto en el mercado spot.

Una vez analizados los resultados en líneas generales del modelo, para ambas series, se analizan los resultados de cada crisis en profundidad, viendo las diferencias que presentan entre subperiodos de crisis y similitudes con otras crisis estudiadas, tanto para los contratos spot, como para los de futuros.

Situándonos a mediados de la década de los 90, un conflicto de naturaleza bélica generó un importante impacto en el mercado del petróleo. Este evento fue la Guerra del Golfo, una etapa en que el comportamiento de la volatilidad se explica por las características y la naturaleza de la crisis.

Este evento generó un intenso impacto en los mercados de petróleo debido a la incertidumbre y a las posibles dificultades que podrían surgir, a raíz de desarrollarse el conflicto en una región muy concentrada de productores de petróleo y frecuentadas rutas de transporte de crudo. Como consecuencia, se generó un importante shock negativo de oferta en el mercado, subiendo los precios a corto plazo de manera importante. Si analizamos los contratos spot en esta etapa, según los resultados del modelo, vemos que la persistencia en la volatilidad no es igual en todo el periodo, anotando su mayor nivel de persistencia en el período de postcrisis. La comparación de estos resultados con los contratos de futuro entraña una dificultad, debido que estos sólo están disponibles para el período de post crisis, mostrando en este caso, una ligera menor persistencia, respecto al mismo periodo de los contratos spot.

Una vez acabada la Guerra del Golfo, situándonos a finales de los años 90 nos encontramos con un evento que tuvo un impacto de naturaleza reducida en el mercado del petróleo y que se originó en el sudeste asiático. Esta fue la Crisis Asiática, un evento que generó con un impacto leve en el mercado petrolero ya que esta crisis fue naturaleza de financiera y los países que se vieron afectados no tenían un gran peso como demandantes de crudo, generando un leve shock negativo de demanda de petróleo. Este shock fue leve y puntual debido a que los factores que generaron esta crisis se concentraban en una zona del mundo muy específica y el efecto contagio a otros mercados, como es el petróleo, fue mínimo.

Dicho esto, vemos que en este periodo la volatilidad a largo plazo presentó una notable persistencia, mostrando un patrón de incremento paulatino de esta persistencia de precrisis a crisis, para reducirse paulatinamente en el periodo post-crisis, un comportamiento similar que podemos ver en los contratos de futuros, aunque para el periodo de post-crisis no tengamos un valor significativo de este parámetro. Este patrón en la persistencia muestra una lógica económico-financiera, ya que conforme los factores que motivan la crisis se vuelven más fuertes la incertidumbre crece y con ello la volatilidad, llegando esta a su punto álgido en plena crisis, viéndose, acto seguido, en la post crisis, como los efectos van perdiendo fuerza reduciendo los niveles de volatilidad y con ello estabilizándose el precio en el mercado. Como mencionamos anteriormente, los efectos de apalancamiento no son significativos durante esta crisis para ambas rentabilidades, salvo en el periodo de postcrisis para la rentabilidad de los futuros, donde el modelo estimado carece de sentido pues da lugar a varianzas condicionales negativas ($\alpha + \gamma < 0$).

Recién estrenado el nuevo milenio, al comienzo del S.XXI., nos encontramos con un evento que tuvo un efecto puntual e intenso en el mercado del petróleo, este fue, los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001 ocurridos en Estados Unidos. Este evento originó un shock negativo de oferta al señalar el gobierno americano que los responsables del atentando estaban en oriente medio, traduciéndose esto, en un pico de volatilidad. Este pico se justifica, al centrarse las posibles represalias de Estados Unidos en un estado situado en una región con rutas de suministro claves e importantes productores con altas cuotas de mercado, a lo que hay que añadir, que estas represalias se centrarían en la región con las mayores reservas de petróleo a nivel mundial, por lo que la desestabilización resultante de un conflicto bélico se vería reflejada claramente en el precio del petróleo.

Dicho esto, podemos ver, que los modelos nos muestran un periodo en donde la volatilidad es más persistente en la precrisis que en la crisis, por las expectativas y la incertidumbre sobre

sobre las represalias de EE. UU. ante el atentado, por lo que las tablas 7 y 8 nos muestran un patrón diferente, en relación al comportamiento de la volatilidad dependiendo del contrato. Por un lado, vemos que el comportamiento de la volatilidad en los contratos spot se caracteriza por un aumento mayor en el periodo de precrisis que en el resto de subperiodos, rompiendo la dinámica habitual vista en el resto de crisis analizadas.

Ahora, si nos fijamos en los contratos de futuros, vemos que estos siguen la dinámica habitual de crecimiento paulatino de la volatilidad, pero con una peculiaridad, esta persistencia a largo plazo no disminuye al pasar la crisis, de hecho, aumenta todavía más. Este comportamiento de la volatilidad a largo plazo se explica por la naturaleza de la crisis, que originó un impacto en el corto plazo muy fuerte, reflejado en los contratos spot, hasta que se supo la reacción y planes militares de EE. UU. en la región. Esta reacción fue la puesta en marcha de la operación Libertad Duradera el 7 de octubre de 2002, lo que generó tensiones en el mercado de futuros ante el desconocimiento de los efectos que tendría esta intervención militar, de gran envergadura y prolongada duración, en el mercado de petróleo a medio y largo plazo. Por esa razón vemos, en todo el desarrollo de la crisis, un comportamiento de la volatilidad en los contratos de futuros más persistente y creciente que en los spots.

Análogamente a la crisis asiática, ahora, aunque los efectos de apalancamiento siguen en general no siendo significativos para ambas rentabilidades, durante el período de crisis para la rentabilidad de futuros se estima un efecto de apalancamiento significativo al 1% pero negativo, careciendo de nuevo el modelo estimado de sentido pues da lugar a varianzas condicionales negativas ($\alpha + \gamma < 0$).

Sí avanzamos en la serie, hasta finales de 2007, nos encontramos con la crisis financiera global de 2008. Un evento que generó un gran impacto en todos los mercados, incluido el petrolero, ante una crisis financiera originada en EE. UU., que se propagó rápidamente por todo el globo gracias a la tecnología y a unos mercados financieros altamente interconectados, dejando un periodo largo de reducción de actividad económica, alto desempleo y conflictos sociales que se tradujeron en un gran shock negativo de demanda. Los efectos en el mercado del petróleo se ven en los valores de persistencia de la volatilidad a largo plazo, que presentan, en este periodo, los mayores niveles, sin contar la crisis sanitaria del COVID-19.

Esta crisis originó en el mercado del petróleo bajadas importantes de precios ante un shock negativo de demanda de crudo provocado por la notable reducción de la actividad económica, a lo que hay que añadir, un incremento importante de la incertidumbre percibida por los agentes económicos. Esta incertidumbre se ve reflejada en el deterioro de los indicadores macroeconómicos de la época, que desemboca en altos niveles de persistencia de la volatilidad a largo plazo, como se puede ver reflejado, en ambos tipos de contratos. Precisamente, el impacto de la incertidumbre vivida en esta gran crisis se puede observar en la evolución del efecto de apalancamiento que, como mencionamos anteriormente, se evidencia positivo y significativo al 1% a lo largo de todo el período tanto para la rentabilidad spot como la de futuros, siendo este efecto notablemente superior en el primer caso (0,362) que en el segundo (0,034). En este aspecto ambos mercados también evolucionan dinámicamente de forma diferente. Por una parte, para la rentabilidad spot, la magnitud del efecto de apalancamiento se comporta de forma parabólica, con un fuerte impacto en la etapa de precrisis (0,996), creciendo hasta llegar a su máximo (1,110)

durante la crisis, para decrecer de forma notable finalmente en la postcrisis (0,243). Por el contrario, este efecto es estadísticamente no significativo para la rentabilidad de los futuros, tanto en la etapa de precrisis como de crisis, pasando a ser significativo y positivo al 5% de probabilidad sólo durante la postcrisis con una magnitud similar al caso spot (0,229).

Concluimos pues que durante la gran crisis financiera de 2008 la incertidumbre impactó sobremanera en la volatilidad de la rentabilidad spot frente a la de futuros, con un comportamiento asimétrico de las noticias positivas y negativas, equiparándose en este sentido ambos mercados sólo en el período post crisis.

Y por último, finalizada la segunda década del siglo XXI y comenzando la tercera, nos encontramos con la crisis sanitaria del COVID-19, originada en China y declarada pandemia mundial por la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 11 de marzo de 2020. Desde el punto de vista del mercado petrolero, en esta crisis se han conjugado importantes shocks tanto de demanda como de oferta. Por una parte, debido a las medidas de confinamiento adoptadas por las diferentes naciones para detener la propagación del virus, se ha generado una reducción de la producción y el consumo no vistas desde el Crack del 29, con la consiguiente drástica reducción en la demanda de petróleo a nivel global.

Por otra parte, las importantes diferencias de criterio entre Rusia y el resto de los países de la OPEP han generado una sobreoferta justo en este momento, redundando todo en una drástica caída del precio en un breve espacio de tiempo hasta niveles del mínimo de la serie para el caso spot (9,12\$/barril el 21/04/2020) y en menor medida para el precio a futuros (mínimo de 19,33\$/barril el 21/04/2020).

Dicho esto, si analizamos los datos de las tablas 7 y 8 de los anexos, mientras que el modelo AR(1)-GJR-GARCH(1,1) no permite modelizar adecuadamente la dinámica de volatilidades en el mercado spot, dada la no significatividad de la mayoría de parámetros estimados, si lo permite, en el caso del mercado de futuros, en donde se aprecia un efecto de apalancamiento positivo y significativo al menos al 5% de probabilidad y de una alta magnitud tanto para todo el período de esta crisis hasta el instante final del estudio (1,327), como para la precrisis (1,110). Además, la peculiaridad del mercado de futuros en esta etapa muestra que las noticias negativas tienen un gran impacto sobre la volatilidad, mientras que esta no se ve afectada por las noticias positivas debido a que los valores de α no resultan significativos. Seguramente, esta crisis del COVID-19 no se ha prodigado precisamente en noticias positivas para el mercado de petróleo.

Por otra parte, los contratos de futuros muestran en este periodo, la menor persistencia de la volatilidad de todos los subperiodos de crisis estudiados. Esto se sustenta en que el efecto a largo plazo y su reflejo en el mercado del petróleo dependerá de cómo avance la economía mundial y bajen el número de contagiados en los próximos meses, junto con la eliminación de las medidas de confinamiento y el descubrimiento de una vacuna.

4. CONCLUSIONES

En un mundo altamente globalizado y dependiente del petróleo para todos los procesos productivos y, ante la falta de sustitutos reales a corto plazo, el análisis de la evolución del precio del petróleo es, tanto para funcionarios gubernamentales, entidades económicas multilaterales, bancos centrales, inversores o empresas una cuestión crítica a estudiar, ya que los efectos negativos que pueden desencadenar una situación de crisis o conflicto socioeconómico que podrían traer consecuencias muy profundas para la economía mundial.

Desde los años noventa las diferentes grandes crisis estudiadas en este trabajo han mostrado un patrón común que las ha desencadenado. Este ha sido, el incremento de la incertidumbre en momentos puntuales generada por shocks de diferente naturaleza, que, como consecuencia, han producido incrementos puntualmente de la inestabilidad del precio del petróleo. Esta reacción la podemos ver reflejada en la volatilidad experimentada en cada crisis, pudiendo apreciar que crece a raíz de esos eventos. Dicho esto, la estimación de los diferentes modelos del tipo GARCH, tanto simétricos como asimétricos, que se ha llevado a cabo en este trabajo nos ha permitido sacar una serie de conclusiones en lo que respecta al comportamiento del precio del petróleo Brent.

En primer lugar, en todos los modelos estimados, tanto para período completo de estudio, como para cada uno de los períodos de crisis, se ha evidenciado en general la alta persistencia en el tiempo de los shocks a la volatilidad tanto del mercado spot, como en el de futuros, siendo esta persistencia aún mayor en los episodios de crisis que conllevan impactos en factores de demanda a nivel internacional (crisis asiática, crisis financiera global y crisis del COVID-19 en el mercado de futuros). En segundo lugar, al igual que Zavadská et al (2020), concluimos que la existencia de efecto de apalancamiento sólo se evidencia en aquellas crisis con un importante componente de shocks de demanda (crisis asiática, crisis financiera global de 2008 y actual crisis COVID-19), al contrario de las crisis en las que predominan en mayor medida los shocks de oferta (guerra del Golfo o ataques terroristas del 11). Además, este efecto de apalancamiento se agudiza especialmente en la actual crisis del COVID-19 dentro del mercado de futuros, no apreciándose su existencia en el mercado spot, seguramente por las limitaciones del modelo utilizado (AR(1)-GJR-GARCH(1,1)) para reflejar el drástico cambio en la dinámica de volatilidades spot en este período.

Dicho esto, si estamos ante un evento que genere un shock negativo de oferta, como es el caso de la guerra del Golfo o los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001, vemos que la perturbación en los mercados de petróleo está generada por un incremento de la incertidumbre ante la reducción de la producción y el transporte de crudo. Esta reacción se justifica, ya que el conflicto que origina esta crisis está situado en una región muy concentrada de productores de petróleo, con mucho peso en los mercados. Se puede ver, en el corto plazo, que se generan incrementos en los precios del petróleo, lo que a su vez provoca, por la influencia del petróleo en todos los procesos productivos, un incremento casi instantáneo de los costes de producción y, con ello, del precio de los productos. Obligando a los consumidores a reestructurar sus decisiones de consumo, lo que a su vez puede generar, si estas subidas son muy pronunciadas, problemas sociales derivados del incremento de los precios de los bienes y servicios, sin ser acorde, con la evolución de los salarios. Este tipo de crisis presenta un patrón común, son eventos en donde la persistencia de los shocks a la volatilidad es más pronunciada en los contratos de futuros, algo

lógico, por la necesidad de cobertura ante la inestabilidad del mercado en el presente, aumentando la demanda de estos instrumentos y con ello su precio.

En otros tipos de escenarios, ante la ocurrencia de una crisis generada por un shock negativo de demanda, como son la crisis asiática (aunque aquí también se dan ciertas perturbaciones en la oferta), la financiera global de 2008 y por supuesto la del COVID-19 vemos, que este tipo de shocks generan caídas de los precios del petróleo motivadas por una reducción de la demanda crudo, ante la bajada generalizada de la actividad productiva y, en consecuencia, del empleo. Esta reacción, inevitablemente se refleja en los mercados del petróleo, confirmado las malas expectativas que tienen los agentes económicos a futuro y dándose el principio de un ciclo bajista de la actividad económica, a todos los niveles, como se ve claramente en la crisis sanitaria del COVID-19. En este tipo de crisis, cuyos efectos que la provocan son normalmente más complejos y de mayor duración, muestran que el comportamiento de la volatilidad, en ambos contratos, difiere mucho dependiendo de la crisis analizada, por lo que no apreciamos un patrón común, como si pudimos ver en las crisis provocadas por shocks con origen en la oferta.

Queremos concluir este trabajo añadiendo, que los análisis de series temporales realizados en este trabajo muestran evidencias económicas para las series estudiadas. Dicho esto, se debe señalar, que actualmente el análisis de la volatilidad, tanto para el caso particular del precio del petróleo, como en general para el precio de activos financieros, es un campo de investigación en el que hay hoy en día un gran número de investigadores trabajando, habiéndose desarrollado modelos alternativos con mayor complejidad que los aquí tratados. La comparación del desempeño de estos modelos tanto a nivel de la muestra utilizada con criterios in-sample, como a nivel de predicción (out-sample) es materia de constante estudio e innovación dentro de la profesión.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Afonso, J., (2019), *Apuntes asignatura Análisis de Series Temporales Económicas*, 4º curso del Grado de Economía, Universidad de La Laguna.
- Akaike, H., (1977), *On entropy maximization principle*, In: Krishnaiah, P.R. (Editor), *Applications of Statistics*, North-Holland, Amsterdam, pp. 27–41. Disponible on-line a 09/05/2020 en: [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2053767](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2053767)
- Bai, J. Perron, P. (2003), *Computation and analysis of multiple structural change models*, *Journal of Applied Econometrics*, 18, pp. 1-22.
- Bollerslev, T., Engle, R., y Nelson, D., (1994), ARCH models, Engle, R. F. y McFadden, D. J. (1994), *Handbook of Econometrics vol. IV*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam., pp. 2959-3038.
- Cottrell, A. y Lucchetti, R.J. (2020), *GRETl's user guide*. Disponible on-line a 04/02/2020 en: <http://gretl.sourceforge.net/gretl-help/gretl-guide.pdf>
- Charles, A. y Darné, O. (2017), *Forecasting crude-oil market volatility: Further evidence with jumps*, *Energy Economics*, 67, pp. 508-519.
- Engle, R., (1982), *Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation*, *Econometrica*, 50, pp. 987-1007. Disponible on-line a 09/05/2020 en: <http://www.econ.uiuc.edu/~econ536/Papers/engle82.pdf>
- Engle, R. y Bollerslev, T., (1986), *Modeling the persistence of conditional variance*, *Journal Econometrics Reviews*, 5, pp 1-50. Disponible on-line a 09/05/2020 en: http://public.econ.duke.edu/~boller/Published_Papers/ectrev_86.pdf
- Engle, R.F. y Ng, V.K. (1993), *Measuring and Testing the Impact of News on Volatility*, *The Journal of Finance*, 48(5), pp. 1749-1778.
- George, E., Draper, R., (1987), *Empirical model-building and response surfaces*, Vol. 424. New York: Wiley. Disponible on-line a 09/05/2020: <https://pdfs.semanticscholar.org/5d09/0074d5fa968d852e4468820cb683040d075a.pdf>
- Glosten, L., Jagannathan, R., Runkle, D., (1993), *On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks*. *Journal of Finance*, 48, pp. 1779–1801. Disponible on-line a 09/05/2020 en: <https://faculty.washington.edu/ezivot/econ589/GJRJOF1993.pdf>
- Granger, C., Joyeux, R., (1980), *An introduction to long-memory time series models and fractional differencing*. *Journal of Time Series Analysis*, 1(1), pp. 15-29.
- GRETl (2020). Disponible online a 04/02/2020 en: <http://gretl.sourceforge.net/>
- ICE (2020), *Brent crude futures*, continuous contract settle price. Disponible on-line a 13/04/2020 en: https://www.quandl.com/data/CHRIS/ICE_B1.

- Jo Di Graphics, *Map of countries with proven oil reserves according to U.S. EIA (start of 2017)*. Disponible on-line a 15/05/2020 en: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_proven_oil_reserves
- Koehler, A. y Murphree, E., (1988), *A Comparison of the Akaike and Schwarz criteria for selecting model order*, Royal Statistical Society, 37(2), pp. 187-195.
- Luchetti, R. y Schreiber, S. (2018), *The "StrucBreak" package for GRETL*. Disponible on-line a 11/05/2020 en: http://ricardo.ecn.wfu.edu/gretl/cgi-bin/current_fnfiles/unzipped/StrucBreak.pdf
- Lütkepohl, H. y Krätzig, M., (2004), *Applied time series econometrics*, Cambridge University Press, Cambridge UK.
- Nelson, D., (1991), *Conditional heteroskedasticity in asset returns: a new approach*, *Econometrica*, 59, pp. 347–370.
- Noguera-Santealla, J. (2016), *Geopolitics and the oil prices*, *Economic Modelling*, 52, pp. 301–309.
- Sadorsky, P. (2006), *Modeling and forecasting petroleum futures volatility*, *Energy Economics*, 28, pp. 467-488.
- Schwarz, Gideon E. (1978), *Estimating the dimension of a model*, *Annals of Statistics* 6 (2): pp. 461-464. Disponible on-line a 09/05/2020 en: <https://www.andrew.cmu.edu/user/kk3n/simplicity/schwarzbic.pdf>
- Tsay, R., (2010), *Analysis of financial time series*, 3ª ed., Wiley, New Jersey. Disponible on-line a 09/05/2020 en: <http://www.lcs.poli.usp.br/~ablimalivros/Analysis%20of%20financial%20time%20series%20Tsay.pdf>
- US Energy Information Administration (2020), *Crude oil price: Brent - Europe* [DCOILBRETEU]. Disponible on-line a 13/04/2020 en: <https://fred.stlouisfed.org/series/DCOILBRETEU>.
- Wang, Q., Sung, X., (2017): *Crude oil price: Demand, supply, economic activity, economic policy uncertainty and wars e from the perspective of structural equation modelling*. *Energy*, Elsevier, 133, pp 483-490.
- Wei, Y., Wang, Y., Huang, D., (2010), *Forecasting crude oil market volatility: Further evidence using GARCH-class models*, *Energy Economics*, 32, pp 1477-1484
- Zakoian, J. M. (1994), *Threshold heteroscedastic models*, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18, pp. 931-955.

ANEXO

Tabla 2: Estadísticos de precios del petróleo Brent spot (20/05/1987-04/05/2020) y de futuro de los periodos (17/03/1993-04/05/2020) estudiados

| | GUERRA DEL GOLFO | | CRISIS ASIÁTICA | | ATENTADOS DEL 11S | | CRISIS FINANCIERA DE 2008 | | CRISIS DEL COVID-19 | |
|-------------------|------------------------|--------------------|------------------------|----------|-------------------------|---------|---------------------------|-----------|---------------------|---------|
| Duración | 7/12/1988 a 12/07/1996 | | 30/05/1995 A 4/07/2000 | | 12/09/2000 A 13/03/2003 | | 1/01/2003 A 31/12/2013 | | 24/01/20 A - | |
| Estadístico | Spot | Futuro (Solo post) | Spot | Futuro | Spot | Futuro | Spot | Futuro | Spot | Futuro |
| Observaciones | 1870 | 766 | 1282 | 1288 | 640 | 633 | 2787 | 2764 | 72 | 71 |
| Media | 18,739 | 16,812 | 18,426 | 18,52 | 25,991 | 26,148 | 75,012 | 75,777 | 36,353 | 39,756 |
| Desviación Típica | 3,957 | 1,529 | 4,795 | 4,549 | 4,026 | 3,747 | 29,977 | 30,017 | 17,471 | 14,361 |
| Mínimo | 13 | 12,92 | 9,1 | 9,64 | 16,51 | 17,68 | 23,23 | 23,26 | 9,12 | 19,330 |
| Máximo | 41,45 | 23,06 | 32,15 | 31,9 | 34,94 | 34,59 | 72,2 | 146,08 | 59,72 | 60,69 |
| Simetría | 2,819 | -0,304 | 0,366 | 0,398 | -0,050 | -0,133 | 0,064 | 0,022 | 0,14 | 0,159 |
| Ex de curtosis | 10,067 | 0,553 | -0,255 | -0,220 | -0,463 | -0,324 | -1,172 | -1,1425 | -1,7307 | -1,676 |
| ADF | -0,249 | 0,279 | 0,703 | 0,578 | -0,261 | -0,295 | 0,374 | 0,384 | -2,043 | -2,007 |
| JB | 10374** | 21,6097** | 32,151** | 36,763** | 6,007** | 4,648** | 161,517** | 150,567** | 9,214** | 8,617** |

Nota: ADF representa el contraste aumentado de Dickey-Fuller sin constante ni tendencia y elegido el retardo óptimo hacia abajo por el criterio de información bayesiano (Lütkepohl y Krätzig, 2004, pp. 54-57). JB representa el contraste de normalidad de Jarque-Bera (Lütkepohl y Krätzig, 2004, pp. 45-46). **: significativo al 1%. * significativo al 5%. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Estadísticos de los rendimientos diarios de la serie spot (20/05/1987-04/05/2020) en las crisis

| | DURACIÓN | OBS | MEDIA | D.T. | MÍNIMO | MÁXIMO | SIMETRÍA | EX CURTOSIS | ADF | JB |
|----------------------------------|----------------------------|-------------|----------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|------------------|-------------------|
| Guerra del golfo | 7/12/88 a 12/07/96 | 1869 | 0,02 | 0,002 | -0,36 | 0,173 | -2,293 | 41,79 | 3,495** | 137,641** |
| Precrisis | 7/12/88 A 27/09/90 | 460 | 0,022536 | 0,023 | -0,135 | 0,122 | 0,259 | 6,381 | -18,123** | 785,776** |
| Crisis | 28/09/90 A 1/04/91 | 128 | -0,0064313 | 0,057 | -0,361 | 0,173 | -1,872 | 11,297 | -11,171** | 788,385** |
| Postcrisis | 2/04/91 A 12/04/96 | 1869 | 0,02 | 0,002 | -0,36 | 0,173 | -2,293 | 41,79 | 3,495** | 137,641** |
| Crisis asiática | 30/05/95 A 4/07/00 | 1281 | 0,00044266 | 0,023 | -0,091 | 0,162 | 0,302 | 3,259 | -33,756** | 586,506** |
| Precrisis | 30/05/95 A 12/09/96 | 328 | 0,00089148 | 0,018 | -0,067 | 0,074 | 0,081 | 2,334 | -16,341** | 74,8388** |
| Crisis | 13/09/96 A 13/01/00 | 833 | 5,2728e ⁻⁰⁵ | 0,024 | -0,091 | 0,162 | 0,471 | 3,246 | -27,879** | 396,65** |
| Postcrisis | 2/04/91 a 12/04/96 | 118 | 0,001581 | 0,024 | -0,085 | 0,062 | -0,603 | 1,787 | -9,2314** | 22,866** |
| Atentados del 11s | 12/09/00 A 13/03/03 | 639 | 3,16e⁻⁰⁵ | 0,026 | -0,198 | 0,128 | -0,805 | 6,644 | -25,242** | 1.244,49** |
| Precrisis | 12/09/00 A 16/09/01 | 259 | -0,00050465 | 0,025 | -0,098 | 0,071 | -0,121 | 0,739 | -15,01** | 6,538** |
| Crisis | 17/09/01 A 8/02/02 | 101 | -0,003439 | 0,039 | -0,198 | 0,128 | -1,189 | 6,272 | -9,988** | 189,409** |
| Postcrisis | 9/02/02 A 13/03/03 | 277 | 0,0018991 | 0,020 | -0,061 | 0,079 | -0,095 | 0,650 | -18,476** | 5,31316** |
| Crisis financiera de 2008 | 1/01/03 A 31/12/13 | 2786 | 0,00046239 | 0,021 | -0,168 | 0,181 | -0,018 | 5,365 | -52,834** | 3,342** |
| Precrisis | 1/01/03 A 28/08/07 | 1195 | 0,00069608 | 0,021 | -0,09 | 0,114 | -0,073 | 1,507 | -35,653** | 114,253** |
| Crisis | 29/08/07 A 28/01/09 | 355 | -0,0014011 | 0,032 | -0,168 | 0,181 | 0,145 | 5,829 | -18,369** | 503,999** |
| Postcrisis | 29/01/09 A 31/12/13 | 1234 | 0,00075835 | 0,018 | -0,088 | 0,102 | -0,016 | 2,643 | -34,621** | 359,367** |
| COVID-19 | 24/01/20 A - | 71 | -0,015 | 0,127 | -0,643 | 0,412 | -1,20 | 8,858 | -8,838** | 249,28** |
| Precrisis | 24/01/20 A 8/03/20 | 30 | -0,087 | 0,032 | -0,117 | 0,04 | -1,46 | 3,02 | -3,15** | 22,11** |
| Crisis | 9/03/20 A - | 40 | -0,014 | 0,163 | -0,643 | 0,412 | -0,956 | 4,76 | -6,81** | 43,853** |

Nota: ADF representa el contraste aumentado de Dickey-Fuller sin constante ni tendencia y elegido el retardo óptimo hacia abajo por el criterio de información bayesiano (Lütkepohl y Krätzig, 2004, pp. 54-57). JB representa el contraste de normalidad de Jarque-Bera (Lütkepohl y Krätzig, 2004, pp. 45-46). **: significativo al 1%. * significativo al 5%. DT representa la desviación típica y OBS son el número de observaciones. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Estadísticos de los rendimientos diarios de la serie de futuros (17/03/1993-04/05/2020) en las crisis

| | DURACIÓN | OBS | MEDIA | D.T. | MÍNIMO | MÁXIMO | SIMETRÍA | EX CURTOSIS | ADF | JB |
|----------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|----------------|------------------|------------------|
| Guerra del golfo | 7/12/88 a 12/07/96 | 765 | 6,34e⁻⁰⁵ | 0,005 | -0,031 | 0,031 | -0,357 | 3,902 | -27,015** | 501,581** |
| Postcrisis | 7/12/88 a 12/07/96 | 765 | 6,34e ⁻⁰⁵ | 0,005 | -0,031 | 0,03 | -0,357 | 3,902 | -27,015** | 501,581** |
| Crisis asiática | 30/05/95 A 4/07/00 | 1287 | 4,03e⁻⁰⁴ | 0,022 | -0,112 | 0,128 | -0,151 | 3,104 | -36,427** | 521,819** |
| Precrisis | 30/05/95 A 12/09/96 | 326 | 0,00093473 | 0,018 | -0,112 | 0,062 | -0,723 | 5,545 | -17,696** | 446,135** |
| Crisis | 13/09/96 A 13/01/00 | 841 | 4,1658e ⁻⁰⁵ | 0,022 | -0,11 | 0,128 | 0,145 | 2,549 | -29,905** | 230,664** |
| Postcrisis | 2/04/91 a 12/04/96 | 118 | 1,27e ⁻⁰³ | 0,027 | -0,102 | 0,074 | -0,784 | 2,259 | -11,262** | 37,205** |
| Atentados del 11s | 12/09/00 A 13/03/03 | 632 | -2,44e⁻⁰⁶ | 0,024 | -0,144 | 0,084 | -0,472 | 2,911 | -25,930** | 246,779** |
| Precrisis | 12/09/00 A 16/09/01 | 255 | -0,00038671 | 0,024 | -0,084 | 0,084 | -0,159 | 1,095 | -15,683** | 13,839** |
| Crisis | 17/09/01 A 8/02/02 | 101 | -0,0036045 | 0,033 | -0,144 | 0,070 | -0,811 | 2,825 | -10,087** | 44,686** |
| Postcrisis | 9/02/02 A 13/03/03 | 274 | 1,51e ⁻⁰³ | 0,019 | -0,049 | 0,064 | -0,179 | 0,254 | -18,401** | 2,203** |
| Crisis financiera de 2008 | 1/01/03 A 31/12/13 | 2763 | 4,80e⁻⁰⁴ | 0,021 | -0,109 | 0,127 | -0,126 | 3,194 | -55,793** | 1182,08** |
| Precrisis | 1/01/03 A 28/08/07 | 1175 | 0,00074409 | 0,02 | -0,078 | 0,073 | -0,065 | 0,758 | -36,619** | 29,006** |
| Crisis | 29/08/07 A 28/01/09 | 350 | -0,0013544 | 0,032 | -0,109 | 0,127 | -0,059 | 2,185 | -20,413** | 69,887** |
| Postcrisis | 29/01/09 A 31/12/13 | 1236 | 7,22e ⁻⁰⁴ | 0,018 | -0,093 | 0,085 | -0,094 | 2,973 | -36,060** | 457,04** |
| COVID-19 | 24/01/20 A - | 70 | -0,011 | 0,076 | -0,279 | 0,19 | -0,585 | 3,442 | -7,895** | 38,557** |
| Precrisis | 24/01/20 A 8/03/20 | 30 | -0,009 | 0,028 | -0,099 | 0,044 | -0,79 | 1,841 | -2,477** | 7,364** |
| Crisis | 9/03/20 A - | 39 | -0,002 | 0,028 | -0,09 | 0,057 | -0,27 | 1,447 | -6,042** | 3,883** |

Nota: ADF representa el contraste aumentado de Dickey-Fuller sin constante ni tendencia y elegido el retardo óptimo hacia abajo por el criterio de información bayesiano (Lütkepohl y Krätzig, 2004, pp. 54-57). JB representa el contraste de normalidad de Jarque-Bera (Lütkepohl y Krätzig, 2004, pp. 45-46). **: significativo al 1%. * significativo al 5%. DT representa la desviación típica y OBS son el número de observaciones. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Estimaciones de los diferentes modelos GARCH para la serie spot (20/05/1985-04/05/2020)

| MODELO | DISTRIBUCIÓN | PARÁMETROS | | | | | CRITERIOS DE INFORMACIÓN | | | ANÁLISIS DE RESIDUOS | | |
|----------------------------|---------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|------------|------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | | AR | ω | α | β | γ | LL | AIC | BIC | Q(10) | Q ² (10) | LM (10) |
| GARCH (1,1) | Normal | - | 3,67e-06*** (0,000) | 0,080*** (0,009) | 0,917*** (0,009) | - | 20750,437 | -41494,875 | -41473,780 | 30,037 [0,001] | 10,248 [0,419] | 10,0546 [0,435] |
| | T Student | - | 3,52e-06*** (0,000) | 0,067*** (0,007) | 0,929*** (0,007) | - | 20976,835 | -41945,670 | -41917,542 | 29,748 [0,001] | 21,079 [0,021] | 20,1078 [0,028] |
| | Skew-Student | - | 3,37e-06*** (0,000) | 0,065*** (0,007) | 0,931*** (0,007) | - | 20984,110 | -41958,223 | -41923,062 | 29,7773 [0,001] | 22,1846 [0,014] | 21,0955 [0,020] |
| | GED | - | 3,56e-06*** (0,000) | 0,072*** (0,008) | 0,924*** (0,008) | - | 20963,379 | -41918,759 | -41890,632 | 29,9012 [0,001] | 14,8290 [0,138] | 14,3996 [0,155] |
| AR(1)- GARCH(1,1) | Normal | 0,042*** (0,011) | 3,70e-06*** (0,000) | 0,081*** (0,009) | 0,916*** (0,009) | - | 20753,766 | -41499,532 | -41471,405 | 9,4939 [0,486] | 10,2271 [0,421] | 9,99733 [0,440] |
| | T Student | 0,034*** (0,01) | 3,55e-06*** (0,000) | 0,067*** (0,007) | 0,929*** (0,007) | - | 20978,640 | -41947,280 | -41912,121 | 11,3725 [0,329] | 20,9035 [0,022] | 19,8804 [0,030] |
| | Skew-Student | 0,032*** (0,011) | 3,40e-06*** (0,000) | 0,066*** (0,007) | 0,931*** (0,007) | - | 20985,282 | -41958,565 | -41916,374 | 12,1108 [0,278] | 21,9888 [0,015] | 20,8516 [0,022] |
| | GED | 0,028*** (0,011) | 3,59e-06*** (0,000) | 0,073*** (0,008) | 0,923*** (0,008) | - | 20963,949 | -41917,898 | -41882,739 | 13,3805 [0,203] | 14,6394 [0,146] | 14,1804 [0,164] |
| AR(1) - EGARCH (1,1) | Normal | 0,048*** (0,012) | -0,212*** (0,036) | 0,175*** (0,021) | 0,989*** (0,003) | -0,034*** (0,008) | 20759,048 | -41506,096 | -41463,905 | 8,3576 [0,594] | 24,6714 [0,006] | 23,2715 [0,009] |
| | T Student | 0,034*** (0,010) | -0,182*** (0,027) | 0,141*** (0,015) | 0,990*** (0,002) | -0,029*** (0,006) | 20998,191 | -41982,383 | -41933,160 | 10,6677 [0,384] | 52,2274 [0,000] | 46,2457 [0,000] |
| | Skew- Student | 0,034*** (0,01) | -0,175*** (0,026) | 0,137*** (0,014) | 0,990*** (0,002) | -0,029*** (0,006) | 21003,914 | -41993,828 | -41944,605 | 11,0188 [0,356] | 55,1406 [0,000] | 49,0073 [0,000] |
| | GED | 0,031*** (0,006) | -0,195*** (0,029) | 0,155*** (0,017) | 0,989*** (0,003) | -0,031*** (0,007) | 20974,775 | -41937,549 | -41895,358 | 12,0395 [0,282] | 37,3411 [0,000] | 34,3006 [0,000] |
| AR(1)-GJR- GARCH (1,1) | Normal | 0,042*** (0,012) | 3,93e-06*** (0,000) | 0,078*** (0,010) | 0,917*** (0,009) | 0,130*** (0,036) | 20769,639 | -41529,278 | -41494,119 | 9,0305 [0,529] | 11,7491 [0,302] | 11,3838 [0,328] |
| | T Student | 0,035*** (0,010) | 3,55e-06*** (0,000) | 0,065*** (0,007) | 0,930*** (0,008) | 0,124*** (0,034) | 20985,880 | -41959,759 | -41917,568 | 10,6290 [0,387] | 20,3367 [0,026] | 19,3345 [0,036] |
| | Skew-Student | 0,033*** (0,011) | 3,40e-06*** (0,000) | 0,064*** (0,007) | 0,931*** (0,007) | 0,122*** (0,034) | 20992,317 | -41970,633 | -41921,410 | 11,1799 [0,344] | 21,3803 [0,019] | 20,2758 [0,026] |
| | GED | 0,029*** (0,011) | 3,68e-06*** (0,000) | 0,070*** (0,008) | 0,924*** (0,008) | 0,122*** (0,033) | 20972,175 | -41932,350 | -41890,159 | 12,4044 [0,259] | 15,2248 [0,124] | 14,6679 [0,144] |

Nota: Errores estándar entre paréntesis. *** = significativo al 1%, ** = significativo al 5%, * = significativo al 10%. LL es la función de verosimilitud, AIC el criterio de información de Akaike y BIC el criterio de información Bayesiano. Q(10) y Q²(10) son los estadísticos de Ljung-Box para 10 retardos de los residuos estandarizados y de sus cuadrados, respectivamente. LM(10) es la prueba ARCH-LM para los residuos estandarizados con 10 retardos. En estos tres últimos estadísticos aparece el valor en probabilidad del test entre corchetes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Estimaciones de los diferentes modelos GARCH para la serie de futuros (17/04/1993-04/05/2020)

| MODELO | DISTRIBUCIÓN | PARAMETROS | | | | | CRITERIOS DE INFORMACIÓN | | | ANÁLISIS DE RESIDUOS | | |
|----------------------------|---------------|----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|------------|------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | | AR | ω | α | β | γ | LL | AIC | BIC | Q(10) | Q ² (10) | LM (10) |
| GARCH (1,1) | Normal | - | 3,25e-06*** (0,000) | 0,067*** (0,012) | 0,929*** (0,012) | - | 17101,625 | -34197,251 | -34176,777 | 7,3044 [0,696] | 13,5917 [0,192] | 14,0506 [0,170] |
| | T Student | - | 2,08e-06*** (0,000) | 0,055*** (0,006) | 0,943*** (0,006) | - | 17295,879 | -34583,757 | -34556,459 | 7,7255 [0,656] | 21,0613 [0,021] | 21,4183 [0,018] |
| | Skew-Student | - | 1,95e-06*** (0,000) | 0,054*** (0,006) | 0,945*** (0,006) | - | 17308,190 | -34606,380 | -34572,256 | 7,7865 [0,650] | 22,2047 [0,014] | 22,5042 [0,012] |
| | GED | - | 2,51e-06*** (0,000) | 0,060*** (0,007) | 0,937*** (0,007) | - | 17279,138 | -34550,275 | -34522,977 | 7,5282 [0,675] | 16,9708 [0,075] | 17,4481 [0,065] |
| AR(1)- GARCH(1,1) | Normal | -0,028** (0,013) | 3,20e-06*** (0,000) | 0,067*** (0,012) | 0,929*** (0,012) | - | 17100,446 | -34192,891 | -34165,593 | 9,0071 [0,531] | 13,1960 [0,213] | 13,6768 [0,188] |
| | T Student | -0,037*** (0,012) | 2,00e-06*** (0,000) | 0,055*** (0,006) | 0,944*** (0,006) | - | 17297,170 | -34584,341 | -34550,218 | 11,4700 [0,322] | 20,7510 [0,023] | 21,1132 [0,020] |
| | Skew-Student | -0,041*** (0,012) | 1,86e-06*** (0,000) | 0,053*** (0,006) | 0,946*** (0,006) | - | 17310,405 | -34608,809 | -34567,862 | 12,5750 [0,248] | 21,9758 [0,015] | 22,2705 [0,013] |
| | GED | -0,040*** (0,012) | 2,42e-06*** (0,000) | 0,059*** (0,008) | 0,938*** (0,007) | - | 17281,525 | -34553,050 | -34518,927 | 12,5574 [0,249] | 16,6226 [0,083] | 17,1257 [0,071] |
| AR(1) - EGARCH (1,1) | Normal | -0,031** (0,014) | -0,185*** (0,036) | 0,132*** (0,021) | 0,989*** (0,003) | -0,036*** (0,009) | 17118,777 | -34227,553 | -34193,431 | 7,7253 [0,656] | 17,2097 [0,070] | 17,609 [0,061] |
| | T Student | -0,035*** (0,012) | -0,135*** (0,019) | 0,111*** (0,011) | 0,993*** (0,001) | -0,033*** (0,006) | 17321,388 | -34628,777 | -34581,005 | 8,5290 [0,577] | 24,8239 [0,006] | 24,2132 [0,007] |
| | Skew- Student | -0,037*** (0,012) | -0,130*** (0,018) | 0,108*** (0,011) | 0,994*** (0,002) | -0,034*** (0,006) | 17333,240 | -34652,480 | -34604,708 | 9,1900 [0,514] | 25,9617 [0,004] | 25,7137 [0,004] |
| | GED | -0,040*** (0,000) | -0,155*** (0,024) | 0,119*** (0,013) | 0,991*** (0,002) | -0,032*** (0,006) | 17302,291 | -34590,583 | -34542,811 | 9,8791 [0,451] | 20,8800 [0,022] | 20,4991 [0,024] |
| AR(1)-GJR- GARCH (1,1) | Normal | -0,031** (0,013) | 2,98e-06*** (0,000) | 0,059*** (0,011) | 0,936*** (0,012) | 0,130** (0,051) | 17110,538 | -34211,076 | -34176,954 | 8,0396 [0,625] | 14,1470 [0,166] | 14,6435 [0,145] |
| | T Student | -0,037*** (0,012) | 1,90e-06*** (0,000) | 0,049*** (0,006) | 0,948*** (0,006) | 0,137*** (0,042) | 17303,208 | -34594,416 | -34553,469 | 9,6170 [0,475] | 19,6432 [0,033] | 20,1114 [0,028] |
| | Skew-Student | -0,040*** (0,012) | 1,78e-06*** (0,000) | 0,048*** (0,006) | 0,949*** (0,005) | 0,134*** (0,042) | 17316,166 | -34618,333 | -34570,561 | 10,4356 [0,403] | 20,6209 [0,024] | 21,0503 [0,020] |
| | GED | -0,041*** (0,010) | 2,28e-06*** (0,000) | 0,053*** (0,007) | 0,943*** (0,007) | 0,129*** (0,043) | 17287,504 | -34563,008 | -34522,061 | 10,8049 [0,373] | 16,6891 [0,082] | 17,2163 [0,069] |

Nota: Errores estándar entre paréntesis. *** = significativo al 1%, ** = significativo al 5%, * = significativo al 10%. LL es la función de verosimilitud, AIC el criterio de información de Akaike y BIC el criterio de información Bayesiano. Q(10) y Q²(10) son los estadísticos de Ljung-Box para 10 retardos de los residuos estandarizados y de sus cuadrados, respectivamente. LM(10) es la prueba ARCH-LM para los residuos estandarizados con 10 retardos. En estos tres últimos estadísticos aparece el valor en probabilidad del test entre corchetes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Estimaciones del modelo AR(1)-GJR-GARCH(1,1) con distribución GED de la serie spot para los períodos de crisis

| PERIODO | PARÁMETROS | | | | | CRITERIOS DE INFORMACIÓN | | | ANÁLISIS DE RESIDUOS | | |
|---|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | AR | ω | α | β | γ | LL | AIC | BIC | Q(10) | Q ² (10) | LM (10) |
| Guerra del golfo | 0,047 (0,029) | 5,07e-06*** (0,000) | 0,076*** (0,015) | 0,910*** (0,015) | -0,142* (0,077) | 4969,32308 | -9926,64615 | -9893,45041 | 6,8756 [0,737] | 10,1514 [0,427] | 10,4708 [0,400] |
| Precrisis | 0,058 (0,082) | 6,14e-06*** (0,000) | 0,083** (0,033) | 0,904*** (0,032) | -0,204 (0,132) | 1160,50716 | -2309,01433 | -2284,24003 | 7,5367 [0,674] | 8,0427 [0,625] | 7,979 [0,630] |
| Crisis | -0,092*** (0,000) | 0,000** (0,000) | 0,231 (0,180) | 0,602*** (0,095) | -0,039 (0,398) | 210,98361 | -409,96723 | -392,90211 | 10,0189 [0,439] | 4,4353 [0,926] | 4,098 [0,942] |
| Postcrisis | 0,059** (0,029) | 2,73e-06* (0,000) | 0,043*** (0,012) | 0,945*** (0,014) | -0,089 (0,115) | 3606,51297 | -7201,02595 | -7170,10764 | 11,3880 [0,328] | 8,5844 [0,572] | 8,591 [0,571] |
| Crisis asiática | 0,060** (0,028) | 5,01e-06 (0,000) | 0,055*** (0,017) | 0,937*** (0,020) | 0,039 (0,096) | 3091,3647 | -6170,7294 | -6139,80171 | 16,2083 [0,094] | 8,7263 [0,558] | 8,600 [0,570] |
| Precrisis | 0,029 (0,058) | 2,40e-06 (0,000) | 0,033 (0,030) | 0,949*** (0,018) | -0,492 (0,684) | 878,75526 | -1745,51051 | -1722,77075 | 14,8092 [0,139] | 7,6894 [0,659] | 7,575 [0,670] |
| Crisis | 0,049 (0,035) | 5,21e-06 (0,000) | 0,031 (0,019) | 0,958*** (0,026) | 0,276 (0,245) | 1940,86445 | -3869,7289 | -3841,3859 | 9,5380 [0,482] | 24,5289 [0,006] | 26,6825 [0,002] |
| Postcrisis | 0,130 (0,154) | 4,70e-05 (0,000) | 0,068 (0,121) | 0,855*** (0,062) | 0,312 (0,761) | 273,44152 | -534,88303 | -518,30999 | 11,7940 [0,299] | 19,3982 [0,035] | 15,046 [0,130] |
| Atentados del 11S de 2001 | 0,002 (0,037) | 3,93e-05* (0,000) | 0,127*** (0,042) | 0,812*** (0,059) | 0,165 (0,144) | 1474,49924 | -2936,99848 | -2910,24845 | 6,3763 [0,783] | 14,2252 [0,163] | 14,1921 [0,164] |
| Precrisis | 0,052 (0,054) | 1,27e-05 (0,000) | 0,018 (0,018) | 0,946*** (0,027) | 0,709 (0,642) | 595,03919 | -1178,07838 | -1156,76062 | 2,0806 [0,996] | 4,9496 [0,895] | 3,06071 [0,979] |
| Crisis | -0,095 (0,218) | 0,000 (0,000) | 0,177 (0,167) | 0,631*** (0,145) | 0,177 (0,587) | 193,435 | -374,87 | -359,23898 | 9,7737 [0,461] | 3,4217 [0,970] | 13,9086 [0,177] |
| Postcrisis | -0,066 (0,059) | 2,43e-05 (0,000) | 0,088** (0,036) | 0,850*** (0,068) | 0,041 (0,158) | 692,90149 | -1373,80298 | -1352,08058 | 8,2259 [0,607] | 11,7798 [0,300] | 11,5433 [0,316] |
| Crisis financiera global de 2008 | 0,017 (0,018) | 2,02e-06* (0,000) | 0,033*** (0,006) | 0,958*** (0,008) | 0,362*** (0,098) | 7053,61005 | -14095,2201 | -14059,62808 | 4,9062 [0,897] | 6,3506 [0,785] | 6,57951 [0,764] |
| Precrisis | -0,018 (0,027) | 3,44e-05** (0,000) | 0,018*** (0,006) | 0,883*** (0,037) | 0,996*** (0,010) | 2954,39259 | -5896,78518 | -5866,2748 | 7,6436 [0,664] | 18,1592 [0,052] | 18,1965 [0,051] |
| Crisis | 0,079 (0,061) | 3,97e-06 (0,000) | 0,019** (0,007) | 0,959*** (0,016) | 1,110*** (0,161) | 790,83838 | -1569,67677 | -1546,46099 | 10,5098 [0,397] | 5,4940 [0,856] | 6,31773 [0,788] |
| Postcrisis | 0,023 (0,025) | 2,81e-06 (0,000) | 0,058*** (0,022) | 0,929*** (0,025) | 0,243*** (0,090) | 3310,70116 | -6609,40232 | -6578,69908 | 2,5908 [0,989] | 6,6438 [0,759] | 7,41376 [0,686] |
| COVID-19 | - | 0,000 (0,000) | 0,049 (0,081) | 0,569* (0,314) | 3,638 (3,301) | 76,71263 | -141,42526 | -127,93429 | 12,6620 [0,243] | 3,2917 [0,974] | 3,18811 [0,976] |
| Precrisis | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Crisis | - | 0,028 (0,036) | 0,245 (0,342) | -0,423 (1,717) | -0,199 (0,686) | 21,92945 | -31,85889 | -21,87752 | 9,5193 [0,484] | 1,9771 [0,997] | 3,39154 [0,970] |

Nota: Errores estándar entre paréntesis. *** = significativo al 1%, ** = significativo al 5%, * = significativo al 10%. LL es la función de verosimilitud, AIC el criterio de información de Akaike y BIC el criterio de información Bayesiano. Q(10) y Q²(10) son los estadísticos de Ljung-Box para 10 retardos de los residuos estandarizados y de sus cuadrados, respectivamente. LM(10) es la prueba ARCH-LM para los residuos estandarizados con 10 retardos. En estos tres últimos estadísticos aparece el valor en probabilidad del test entre corchetes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Estimaciones del modelo AR(1)-GJR-GARCH(1,1) con distribución GED de la serie de futuros para los periodos de crisis

| PERIODO | PARÁMETROS | | | | | CRITERIOS DE INFORMACIÓN | | | ANÁLISIS DE RESIDUOS | | |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|--------------|--------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | AR | ω | α | β | γ | LL | AIC | BIC | Q(10) | Q ² (10) | LM (10) |
| Guerra del golfo | - | 2,59e-06* (0,000) | 0,071*** (0,019) | 0,925*** (0,016) | -0,161 (0,121) | 2180,57952 | -4349,15904 | -4321,32763 | 18,9982 [0,040] | 11,0493 [0,354] | 11,263 [0,337] |
| Postcrisis | - | 2,59e-06* (0,000) | 0,071*** (0,019) | 0,925*** (0,016) | -0,161 (0,121) | 2180,57952 | -4349,15904 | -4321,32763 | 18,9982 [0,040] | 11,0493 [0,354] | 11,263 [0,337] |
| Crisis asiática | -0,005 (0,032) | 1,88e-06 (0,000) | 0,047*** (0,011) | 0,950*** (0,009) | -0,190* (0,106) | 3193,03116 | -6374,06233 | -6343,10658 | 9,0610 [0,526] | 11,6201 [0,311] | 12,0145 [0,284] |
| Precrisis | 0,001 (0,060) | 1,90e-06 (0,000) | 0,058* (0,031) | 0,932*** (0,022) | -0,391 (0,342) | 896,14977 | -1780,29955 | -1757,5966 | 13,9740 [0,174] | 6,2302 [0,796] | 5,9029 [0,823] |
| Crisis | -0,008 (0,033) | 2,02e-06 (0,000) | 0,019** (0,008) | 0,975*** (0,009) | 0,236 (0,251) | 2049,22106 | -4086,44213 | -4058,04171 | 11,6323 [0,310] | 12,7123 [0,240] | 12,8254 [0,233] |
| Postcrisis | -0,055 (0,226) | 0,000 (0,000) | 0,064 (0,073) | -0,297 (0,338) | -1,005*** (0,018) | 259,37413 | -506,74827 | -490,17522 | 2,3400 [0,993] | 6,3288 [0,787] | 5,77871 [0,833] |
| Atentados del 11S de 2001 | -0,078** (0,031) | 1,20e-05 (0,000) | 0,052 (0,057) | 0,926*** (0,091) | -0,012 (0,153) | 1498,44034 | -2984,88068 | -2958,19685 | 9,1952 [0,514] | 10,5800 [0,391] | 9,831 [0,455] |
| Precrisis | -0,054 (0,042) | 3,17e-05 (0,000) | 0,054 (0,057) | 0,883*** (0,111) | 0,216 (0,298) | 599,66781 | -1187,33562 | -1166,11162 | 10,3275 [0,412] | 5,9039 [0,823] | 7,71353 [0,656] |
| Crisis | -0,069 (0,071) | 8,69e-05* (0,000) | 0,044 (0,036) | 0,845*** (0,061) | -0,895*** (0,164) | 205,06005 | -398,1201 | -382,48908 | 11,8893 [0,293] | 0,8236 [1,000] | 7,83149 [0,645] |
| Postcrisis | -0,103* (0,054) | 1,72e-05 (0,000) | 0,013 (0,035) | 0,932*** (0,039) | -0,518 (2,003) | 700,26302 | -1388,52605 | -1366,86922 | 6,4899 [0,773] | 7,5966 [0,668] | 8,09548 [0,619] |
| Crisis financiera global de 2008 | -0,047*** (0,018) | 2,52e-06* (0,000) | 0,043*** (0,008) | 0,949*** (0,010) | 0,034*** (0,013) | 7082,53252 | -14153,06504 | -14117,52278 | 5,4039 [0,863] | 4,4690 [0,924] | 4,46811 [0,923] |
| Precrisis | -0,073** (0,028) | 2,44e-05* (0,000) | 0,018 (0,022) | 0,902*** (0,041) | 0,925 (1,203) | 2970,44598 | -5928,89197 | -5898,48293 | 5,7101 [0,839] | 10,7187 [0,380] | 10,8744 [0,367] |
| Crisis | -0,041 (0,053) | 1,34e-05* (0,000) | 0,012 (0,014) | 0,917*** (0,032) | 2,145 (1,724) | 771,15028 | -1530,30055 | -1507,17012 | 7,0037 [0,725] | 12,6079 [0,246] | 11,0837 [0,351] |
| Postcrisis | -0,028 (0,031) | 2,79e-06 (0,000) | 0,050*** (0,018) | 0,938*** (0,023) | 0,229** (0,101) | 3340,44523 | -6668,89045 | -6638,1775 | 3,0012 [0,981] | 15,5492 [0,113] | 16,5012 [0,086] |
| COVID-19 | 0,165 (0,128) | 9,25e-05 (0,000) | 0,286 (0,186) | 0,457*** (0,124) | 1,327** (0,572) | 99,36981 | -186,73962 | -173,33498 | 7,3749 [0,690] | 9,7304 [0,464] | 9,28867 [0,505] |
| Precrisis | 0,489** (0,246) | 3,46e-05 (0,000) | 0,207 (0,214) | 0,676** (0,339) | 1,110*** (0,443) | 66,42637 | -120,85274 | -112,64897 | 6,1674 [0,801] | 4,5949 [0,917] | 7,88043 [0,640] |
| Crisis | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Nota: Errores estándar entre paréntesis. *** = significativo al 1%, ** = significativo al 5%, * = significativo al 10%. LL es la función de verosimilitud, AIC el criterio de información de Akaike y BIC el criterio de información Bayesiano. Q(10) y Q²(10) son los estadísticos de Ljung-Box para 10 retardos de los residuos estandarizados y de sus cuadrados, respectivamente. LM(10) es la prueba ARCH-LM para los residuos estandarizados con 10 retardos. En estos tres últimos estadísticos aparece el valor en probabilidad del test entre corchetes. Fuente: Elaboración propia.