



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

**Análisis económico, técnico y matemático del efecto de
la COVID-19 en el mercado de petróleo**

Autor: Paula Vázquez Babón
Director: Luis Ángel Calvo Pascual

Madrid, mayo de 2021

Palabras clave

Petróleo, precios, coronavirus, COVID-19, análisis técnico, indicadores bursátiles, regresión lineal, regresión polinómica, ecuaciones estocásticas, inferencia estadística.

Keywords

Oil, prices, coronavirus, COVID-19, technical analysis, stock indicators, lineal regression, polynomial regression, stochastic equations, statistical inference.

Resumen

Hace un año en 2019, el precio del petróleo en el mercado era de aproximadamente 60 dólares por barril. Este año, el precio por barril ha alcanzado los -37 dólares — territorio negativo — llegando a caer 40 dólares la hora. Tan solo dos meses después, los precios del crudo alcanzaron nuevamente cifras positivas, recuperándose un 91% en el caso del índice americano West Texas Intermediate (WTI) y un 81% en el caso del índice de referencia europeo, el Brent.

En definitiva, el mercado del crudo ha tenido en 2020 uno de los comportamientos más volátiles de su historia. Esta volatilidad se debe a uno de los eventos que más ha marcado el curso del siglo XXI: la crisis causada por la pandemia del coronavirus (COVID-19). Emplearemos diversas herramientas matemáticas y económicas, como el análisis técnico y estadístico, para entender su comportamiento.

Abstract

A year ago in 2019, the price of oil in the market was about 60 dollars per barrel. This year, the price per barrel reached -37 dollars — negative territory — having plummeted 40 dollars an hour. Only two months later, crude oil prices reached positive figures again, having recovered a 91% in the case of the American index West Texas Intermediate (WTI) and an 81% in the case of the European benchmark, the Brent.

In short, the oil market in 2020 had one of the most volatile behaviors in its history. This volatility is due to one of the events that has most marked the course of the 21st century: the crisis caused by the coronavirus pandemic (COVID-19). We will use various mathematical and economical tools, such as technical and statistical analysis, to understand its behavior.

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 4 |
| 1.1. Contexto y estado de la cuestión | 4 |
| 1.2. Objetivo y estructura del trabajo | 5 |
| 1.3. Metodología empleada | 6 |
| 2. Análisis económico | 7 |
| 2.1. Principales factores que condicionan el precio del petróleo | 7 |
| 2.1.1. Demanda/ Consumo | 7 |
| 2.1.2. Oferta/ Producción | 9 |
| 2.1.3. Alternativas energéticas | 10 |
| 2.1.4. Políticas gubernamentales | 11 |
| 2.1.5. Especulación de inversores | 12 |
| 2.1.6. Shocks exógenos sin precedentes | 13 |
| 2.2. Explicación fundamentalista: Sucesión temporal de los hechos | 14 |
| 3. Análisis técnico | 18 |
| 3.1. Validez del análisis técnico | 18 |
| 3.2. Modalidad gráfica | 20 |
| 3.3. Indicadores bursátiles | 21 |
| 3.3.1. Medias móviles | 21 |
| 3.3.2. Bandas de Bollinger | 25 |
| 3.3.3. Canal de Keltner | 27 |
| 3.3.3.1. Canal de Keltner + Bandas de Bollinger | 29 |
| 3.3.4. Williams Percent Range (Williams %r) | 31 |
| 3.3.4.1. Williams %r + Canal de Keltner | 32 |
| 3.3.5. Average Directional Index (ADX) | 33 |
| 3.4. Explicación técnica: Canales, Ondas de Elliott y números de Fibonacci | 35 |
| 4. Análisis matemático | 38 |
| 4.1. Regresión Lineal y Parábola de Regresión | 38 |
| 4.2. Modelo estocástico: Movimiento browniano | 43 |
| 4.3. Estudio estadístico | 46 |
| 5. Conclusiones | 48 |
| 6. Bibliografía | 51 |
| 7. Anexos | 54 |

[1. Introducción]

1.1. Contexto y estado de la cuestión

La pandemia por coronavirus del 2019 (COVID-19) ha sido, sin ninguna duda, un punto de inflexión en el curso del siglo XXI. Esta crisis multifacética ha supuesto un shock sanitario, económico, político y social, y sus efectos han azotado a la mayoría de los países y territorios de todo el mundo.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los coronavirus son una extensa familia de virus que pueden causar enfermedades o infecciones respiratorias (OMS, 2019), y la enfermedad que se ha descubierto más recientemente por coronavirus es la COVID-19.

El primer brote estalló en diciembre de 2019 en la ciudad de Wuhan, China, extendiéndose posteriormente por el resto de países a lo largo del curso del año 2020. Tanto este nuevo virus, como la enfermedad que provoca, eran desconocidos antes de que estallara el brote (OMS, 2019).

La rareza del evento, y por ello su imprevisibilidad, lo convierten en lo que se conoce como un “cisne negro”, término acuñado por el economista libanés Nassim Taleb. La expresión hace referencia a un acontecimiento inesperado que produce consecuencias importantes a gran escala y sobre el que se pueda dar una explicación a posteriori (EOM, 2020).

Como cisne negro, el impacto de la COVID-19 ha sido completamente diferente a cualquier otro, y ha dejado huella en todas las industrias existentes. Algunas han salido mejor paradas que otras, pero en el caso del sector energético, y más concretamente el petróleo, ha tenido uno de los impactos más críticos, azotando al activo con gran fuerza y causando una gran volatilidad en sus precios, que será lo que analizaremos en este trabajo.

Por la naturaleza de la crisis, esencialmente sanitaria, el mundo entero ha tenido que ponerse en cuarentena, restringiéndose el movimiento de los recursos y agentes económicos y paralizándose gran parte de la actividad económica en consecuencia. Por ello, el sector energético, y sobre todo el petróleo, han sido tan afectados, pues su uso deja de cobrar utilidad con la inactividad de las economías.

1.2. Objetivo y estructura del trabajo

La fuerte caída en la demanda de petróleo y su recuperación se muestra reflejada en la gran variabilidad de los precios de esta importante *commodity* en el mercado en el año 2020. Este trabajo analizará la volatilidad de las cotizaciones en bolsa del petróleo que ha causado la COVID-19, pues en este año 2020 se han llegado incluso a alcanzar precios negativos por primera vez en su historia.

Por ello, el **objetivo** de este trabajo de fin de máster es dar una explicación racional a los efectos de la COVID-19 en los precios del crudo, llevando a cabo un análisis triple para afrontar la cuestión **desde** tres perspectivas: económica, técnica y matemática.

En primer lugar, en el capítulo 2, llevaremos a cabo un **análisis económico**. En este, identificaremos y explicaremos los principales factores más fundamentalistas que influyen en los precios del petróleo. Son seis factores principales: demanda o consumo de petróleo, oferta o producción de petróleo, alternativas energéticas al petróleo, políticas gubernamentales sobre energía, especulación de inversores en el mercado y shocks exógenos sin precedentes.

En segundo lugar, en el capítulo 3, llevaremos a cabo un **análisis técnico bursátil**. En este, seleccionaremos una serie de indicadores bursátiles que nos ayudarán gráficamente a sacar conclusiones más sofisticadas acerca del comportamiento de los precios del petróleo durante los seis primeros meses de la pandemia. Emplearemos cinco indicadores bursátiles: Medias móviles, Bandas de Bollinger, Canal de Keltner, Williams Percent Range (Williams %r) y Average Directional Index (ADX).

Y, en tercer y último lugar, en el capítulo 4, llevaremos a cabo un **análisis matemático**. En este, utilizaremos procedimientos estadísticos para extraer conclusiones sobre la crisis de precios, ajustes de datos mediante regresión lineal (recta de regresión) para entender la tendencia de los precios y movimiento browniano para obtener un modelo más exacto de la cotización del crudo.

A continuación, en las siguientes secciones, veremos desarrollada cada parte del análisis por su cuenta, primero el económico, posteriormente el técnico y finalmente el matemático. Terminaremos con una serie de conclusiones extraídas gracias a los tres análisis previos acerca de los efectos de la COVID-19 en los precios del petróleo, la cuestión central de este trabajo.

1.3. Metodología empleada

La metodología empleada para elaborar este trabajo ha sido, en primer lugar, reuniones periódicas individuales y grupales con el director asignado, Luis Ángel Calvo Pascual. En segundo lugar, la lectura individual de los artículos, noticias y libros de autores como los clásicos Adam Smith o Isaac Newton, así como de otros autores de gran importancia y antigüedad como John Murphy (ver [8]). Y, en tercer y último lugar, el uso de softwares informáticos como Matlab, Microsoft Excel o la plataforma de mercados Etoro, sobre todo para el análisis técnico y matemático.

Además, en este trabajo, usaremos un método de análisis científico para establecer conclusiones. Partiremos de la hipótesis de que la pandemia ha paralizado el mundo y, en consecuencia, los mercados globales, en nuestro caso el de petróleo y por tanto el precio del petróleo, que es el activo analizado, debería de caer al bajar la demanda del recurso.

Comprobaremos nuestra hipótesis viendo si, realmente, ha ocurrido esto en el mercado de petróleo midiendo numérica y gráficamente lo sucedido y comparándolo, en una ocasión, con otros activos e índices. Hay que tener en cuenta que gran parte del volumen de mercado de petróleo es especulativo, como se explicará más adelante en este trabajo y, por lo tanto, la fuerte caída de la demanda no explica por sí sola el comportamiento del precio, entrando en juego otros factores que desarrollaremos más adelante en este trabajo.

Por último, también comprobaremos la veracidad y utilidad o aplicabilidad a nuestro análisis de ciertas teorías y herramientas, de grandes autores tanto clásicos como más modernos, como por ejemplo la ley de la oferta y la demanda de Adam Smith (ver [15]), la ley de movimiento de Isaac Newton (ver [9]), la teoría de Dow (ver [7]), la teoría de las ondas de Elliot (ver [17]) o las herramientas de análisis técnico analizadas por John Murphy (ver [8]), entre muchas otras.

[2. Análisis económico]

2.1. Principales factores que condicionan el precio del petróleo

Para llevar a cabo un análisis más completo y acertado sobre el efecto del coronavirus (COVID-19) en los precios del petróleo, a parte de los factores técnicos y matemáticos que veremos en las siguientes secciones, vamos a incluir también factores de tipo económico. Estos serán igualmente de gran utilidad a la hora de explicar la gran volatilidad de los precios del petróleo en el mercado.

Los factores económicos que tendremos en cuenta y que analizaremos a continuación son los siguientes: demanda o consumo de petróleo, oferta o producción de petróleo, alternativas energéticas al petróleo, políticas gubernamentales sobre energía, especulación de inversores en el mercado y shocks exógenos sin precedentes.

2.1.1. Demanda / Consumo

La demanda de petróleo, junto a la oferta, es uno de los principales factores determinantes de los precios del *commodity*.

Se puede explicar a través de la ley de oferta y demanda del economista y filósofo clásico Adam Smith. Si la demanda es superior a la oferta — exceso de demanda —, los precios del petróleo deberían subir. En cambio, si la demanda es inferior a la oferta — escasez de demanda —, los precios del petróleo deberían bajar (Smith, 1776).

La demanda implica consumo, y viceversa. Es decir, que la demanda será mayor cuanto mayor sean las necesidades de consumo. Por lo tanto, la demanda de petróleo, y un aumento de sus precios en consecuencia, depende en gran parte de la intensidad de la actividad de las diferentes economías, es decir de su crecimiento económico.

Hasta ahora, la demanda venía siendo creciente por parte de los países en vías de desarrollo, y estable en el caso de los países desarrollados. Esto se debe principalmente a que los países en vías de desarrollo no pueden prescindir de fuentes energéticas como el petróleo en situación de crecimiento económico, pues se encuentran en proceso de industrialización y urbanización. En cambio, los países desarrollados, gracias a la eficiencia energética y la innovación tecnológica por las presiones que supone el cambio climático, prescinden, cada vez más, de fuentes como el petróleo, utilizando alternativas energéticas y descendiendo el consumo y la demanda de petróleo en consecuencia.

En conjunto, los precios del petróleo se encontraban en crecimiento en las últimas décadas, sobre todo por el auge de la actividad económica en los países en vías de desarrollo, llegando a alcanzar los 100 dólares por barril entre 2011 y 2014 (Deloitte, 2020). No obstante, los precios se han estabilizado últimamente, abandonando una tendencia creciente. Este cambio de tendencia en el mercado del petróleo se debe a varias razones.

Por un lado, la creciente inestabilidad de la política mundial a partir de 2014 hasta 2019. Los nacionalismos europeos (Brexit) o las continuadas guerras comerciales entre China y EE. UU. hicieron que los precios del petróleo se deprimieran por la creciente incertidumbre, que se contagia a otros países por la conectividad de la economía.

Y, por otro lado, la crisis causada por la pandemia de la COVID-19 en 2020. Las medidas de contención¹ impuestas para frenar la curva de contagios destruyeron entre el 20% y el 30% de la demanda — consumo — de petróleo cada día en 2020 (IEA, 2020), deprimiendo los precios en el mercado en consecuencia.

En definitiva, la demanda de petróleo ya se encontraba deprimida en los años anteriores a la COVID-19, y lo más probable es que lo siga haciendo en las décadas posteriores a la pandemia. Esto se debe a que, seguramente, no se vuelvan a alcanzar los niveles de precios previos a la crisis. La tendencia del mercado del petróleo es una de estancamiento o de débil crecimiento de los precios, pues la demanda o el consumo de petróleo se está estabilizando y disminuirá en el largo plazo, sobre todo por parte de los países desarrollados.

La eficiencia energética, la innovación tecnológica, las energías alternativas y renovables, el calentamiento global y las políticas gubernamentales de apoyo a las energías limpias, que veremos a continuación, son algunas razones para ello. En consecuencia, no esperamos un gran crecimiento de los precios del petróleo incluso después de la pandemia, tan solo una mera recuperación al paulatinamente reanudarse la actividad económica, es decir el consumo. En otras palabras, la subida de los precios no se deberá a una mayor demanda de petróleo sino a una recuperación del consumo que se había perdido con la COVID-19.

¹ La reducción de la movilidad por las cuarentenas impuestas en 187 países de todo el mundo impidió tanto el transporte terrestre como el aéreo y el marítimo, al interrumpirse el comercio internacional e irrumpirse las cadenas globales de suministro.

2.1.2. Oferta / Producción

Al igual que ocurre con la demanda, la oferta de petróleo también es uno de los principales factores determinantes de los precios del *commodity*.

Se puede explicar a través del principio de escasez de los recursos económicos, que dice que cuanto más limitada sea la oferta de un recurso escaso, en este caso del petróleo, mayores serán los precios, y viceversa. Es por ello por lo que los oferentes o productores² de petróleo se aprovechan de ello, recortando o aumentando sus cuotas de producción para influir en el precio.

En el caso de la pandemia de la COVID-19, ha habido una crisis de sobreproducción y de escasez de almacenamiento, lo que se conoce como *glut oil*. La oferta superaba con creces una débil demanda resultado de las restricciones de la movilidad y la interrupción de la actividad económica, por lo que los precios disminuyeron drásticamente en el mercado. La situación era tal que los productores tenían que pagar a sus compradores habituales para que les “quitaran el petróleo de las manos”, pues el coste de almacenarlo era superior para ellos. De ahí que el petróleo alcanzara precios negativos.

A diferencia de otras crisis, el factor clave para la recuperación y estabilización, que es la demanda, no se podía manipular en el caso de la COVID-19, por lo que el control de los precios por parte de oferentes o productores disminuyó considerablemente ante la situación, y la manipulación tuvo que venir por parte de la oferta. De hecho, desde la Guerra del Golfo en 1991, no se había producido una disrupción por parte de la oferta de la importancia e impacto que ha tenido la de la COVID-19 (Deloitte, 2020).

En resumen, la oferta influye en los precios del petróleo en el mercado porque si la oferta supera a la demanda — exceso de oferta —, los precios del petróleo subirán. En cambio, si la oferta es superada por la demanda — escasez de oferta —, los precios del petróleo bajarán. Los aumentos o recortes de cuotas de producción es un claro ejemplo de la influencia que tiene el factor oferta en los precios del petróleo en el mercado.

² Los principales oferentes o productores de petróleo son los países de la Organización de Países Exportadores del Petróleo (OPEP), grupo que aglutina países de Oriente Medio, África y uno de América Latina, Venezuela. Por otro lado, Rusia, que junto a la OPEP conforma la OPEP+, y países de las dos Américas, principalmente Brasil, Canadá y EE. UU., cuya producción ha aumentado exponencialmente gracias a la técnica del fracking y al shale oil.

2.1.3. Alternativas energéticas

Las fuentes de energía alternativas a las fuentes fósiles están en completo auge por ser menos contaminantes en un mundo donde las presiones del cambio climático suponen la necesidad de actuar. La principal manera de actuación es reducir las emisiones, objetivo que se realiza en detrimento de otras fuentes más contaminantes, como el petróleo.

La tendencia presente, y sobre todo futura, de un mayor uso de fuentes alternativas, está suponiendo en los últimos años, y lo supondrá en los venideros, la pérdida de momento de los precios de fuentes energéticas más contaminantes, como es el caso del petróleo. Por lo tanto, cuanto mayor sea la disponibilidad de alternativas energéticas, menor empuje tendrá el precio del petróleo en el mercado, pues su uso se está estabilizando, e incluso decreciendo, pero en ningún caso creciendo.

Durante el 2020, es decir durante la COVID-19, las energías renovables fue el único sector energético que supuso un crecimiento por parte de la demanda (IEA, 2020), siendo la fuente energética más resiliente de todas durante la pandemia; su uso — consumo o demanda — global aumentó en un 1% ese año en relación con el anterior (IEA, 2020).

Hoy en día, existe una carrera por ver quien produce mayores energías renovables, con el objetivo de alcanzar la autosuficiencia y depender menos de otras fuentes energéticas como el petróleo, por no mencionar las presiones a las que se encuentran sometidas las empresas por adoptar políticas corporativas más responsables socialmente.

El desarrollo e innovación tecnológicas han sido los permisos o facilitadores de esta carrera. Han ampliado y aumentado los usos de las energías alternativas sobre los del petróleo y otras fuentes de energía más contaminantes. Un claro ejemplo son los vehículos eléctricos (VEs), vehículos más eficientes energéticamente, es decir menos contaminantes, que irán sustituyendo a los vehículos tradicionales de combustión interna, aunque poco a poco, pues esta transición es una a largo plazo.

Por ejemplo, China, el segundo consumidor o demandante de petróleo en el mundo, es, al mismo tiempo, el número uno en ventas de VEs, con el 45% de la flota de VEs en el mundo (IEA, 2020). Además, se predice que en 2050 el 50% de los nuevos coches que se vendan serán eléctricos, eliminando alrededor de 5 millones de barriles de petróleo al día (CSIS, 2019).

En definitiva, a mayor eficiencia energética, menor consumo o demanda de petróleo, que se refleja en un menor empuje alcista de sus precios en el mercado.

2.1.4. Políticas gubernamentales

Si a la sección anterior, que habla sobre el auge de las energías renovables y la eficiencia energética, le sumamos un marco político favorecedor e incentivador del uso de energías más limpias, los precios del petróleo tendrán un empuje mucho menor aún. Se trata de la tendencia actual, la estabilización o estancamiento de los precios del *commodity* en cuestión por el momento ganado por las fuentes de energía alternativas más limpias.

Sin embargo, esta transición energética es una a largo plazo, por lo que los efectos actuales de esta en el precio del petróleo son prácticamente inapreciables en el momento presente, haciéndose más obvios, como hemos dicho, en el largo plazo. A pesar de ello, las medidas y regulaciones gubernamentales que favorecen al medioambiente, y que por lo tanto afectan al petróleo, se están poniendo en marcha ahora, en el presente.

Algunos ejemplos de medidas a nivel gubernamental, nacional e internacional, que afectan negativamente al precio del petróleo pueden ser el Acuerdo de París, que establece medidas a nivel global para la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero, o el Protocolo de Kioto, considerado el primer acuerdo jurídicamente vinculante sobre la lucha contra el cambio climático. Las medidas a nivel nacional son innumerables y diferentes en cada país, por lo que no mencionaremos ejemplos concretos, pero estas tienen gran fuerza y su peso es mayor cada vez.

Definitivamente, las políticas gubernamentales, tanto a nivel nacional como internacional, que favorezcan un menor uso de combustibles fósiles³ — petróleo, gas y carbón — en los diferentes productos y servicios de las empresas, afectará negativamente al precio de estos en el mercado, en nuestro caso del petróleo, no sosteniéndose una demanda elevada o creciente a largo plazo, sino todo lo contrario.

De nuevo, esta es una transición a largo plazo, por lo que los movimientos a corto plazo del petróleo no podrían explicarse por medio de esta causa, cosa que sí ocurriría,

³ Depósitos geológicos de materiales orgánicos combustibles que se encuentran enterrados. Según Naciones Unidas, los combustibles fósiles “comprenden el 80% de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial” y son “responsables de dos terceras partes de las emisiones de dióxido de carbono en la atmósfera”.

por ejemplo, con el factor demanda o consumo y el factor oferta o producción. Se podría decir que estos dos últimos factores son los más influyentes a corto plazo en el precio del petróleo en el mercado, y la COVID-19 es justamente una crisis de ambos.

2.1.5. Especulación de inversores

Los precios del petróleo se establecen en los mercados de futuros, y es principalmente en estos donde la especulación bursátil se lleva a cabo. Esto significa que los movimientos especuladores⁴ sobre acontecimientos futuros afecta al precio del activo — del petróleo — en el presente.

Un contrato de futuro no es más que un acuerdo entre dos partes que vincula a realizar una compra o una venta de un determinado activo, en nuestro caso el petróleo, en una fecha futura y a un precio concreto. Por lo tanto, las apuestas que se hacen sobre el precio del petróleo en la actualidad determinan el precio futuro del activo.

La especulación, por lo tanto, es sin duda un factor que afecta a la cotización del petróleo, por establecerse en un mercado de futuros. Sin embargo, esto no quiere decir que otros factores carezcan de valor a la hora de afectar al precio del petróleo, como pueden ser aquellos factores que hemos mencionado anteriormente y que están más relacionados con la economía real: demanda o consumo, oferta o producción, alternativas energéticas y políticas gubernamentales que las favorezcan o apoyen.

Según el informe técnico de 2006 sobre especulación del mercado del gobierno de EE. UU., “el 30% del incremento del precio del petróleo hasta el 2006 es imputable a la especulación financiera” (US Government Office, 2006).

Por lo tanto, podemos ver como la especulación bursátil o financiera es un gran factor influyente en los precios futuros del petróleo, pero esto no anula o quita importancia a otros factores más propios de un análisis fundamentalista, que también condicionan su cotización.

⁴ De acuerdo con la *Commodity Futures and Trading Commission* (CFTC), un movimiento especulador es “aquél que no tiene intención de adquirir la mercancía en cuestión, sino que arriesga su inversión de capital para obtener una ganancia que se basa en la variación de los precios”.

2.1.6. Shocks exógenos sin precedentes

El último factor, y quizás el más relevante en el caso de este análisis, hace referencia a los shocks exógenos sin precedentes, aquellos eventos que la economía no puede explicar o controlar. En nuestro caso, el shock exógeno por excelencia que ha afectado a las cotizaciones en bolsa, ya no solo del petróleo, sino de todos los activos de los mercados financieros, es la pandemia del coronavirus, la famosa COVID-19.

La crisis de la COVID-19 ha sido como ninguna otra anterior, y sus implicaciones para la economía global han sido realmente devastadoras. Ha supuesto un shock macroeconómico sin precedentes que ha puesto al mundo entero, exactamente a 4,2 billones de personas o el 54% de la población total, equivalente al 60% del PIB mundial (IEA, 2020), en cuarentena durante meses. Por ello, por ser una crisis que ha desactivado gran parte de la actividad económica, su impacto, sobre todo en el sector energético, ha sido algo nunca visto.

De hecho, de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, el impacto en este sector ha sido siete veces mayor que el impacto de la crisis de 2008 (IEA, 2020) y su efecto en el precio del petróleo ha sido llevarlo a niveles negativos por primera vez en su historia (CNA, 2020).

La razón por la cual el sector energético se ha visto tan afectado, y dentro de él el petróleo, es por la interrupción de la movilidad que ha supuesto la cuarentena, sobre todo por transporte terrestre y aéreo. En el caso del primero, la actividad se ha reducido entre un 50% y 75% (IEA, 2020), y en el caso de la segunda, la actividad aérea se ha visto reducida en más de un 90% (IEA, 2020).

Por ello, debido a la naturaleza de la crisis o shock, el sector energético, y en especial el petróleo, se han visto afectados a tan gran escala, pues la desactivación o parálisis de la economía por la reducción de la movilidad han supuesto una caída de la demanda de energía prácticamente total.

En el caso del petróleo, sus precios se desplomaron y, como veníamos diciendo, solo después del levantamiento de la cuarentena volvieron sus precios a recuperarse, pues la demanda se activó progresivamente con el levantamiento de las restricciones y la vuelta a la movilidad.

2.2. Explicación fundamentalista: Sucesión temporal de los hechos

En esta sección, a través de eventos y noticias concretas sobre la COVID-19, estableceremos una relación entre los principales factores económicos que acabamos de identificar en la sección anterior y el comportamiento de los precios del petróleo en el mercado por meses, con el objetivo de comprender mejor la evolución de las cotizaciones.

[Gráfico 1]: Precio (\$USD) del petróleo (2ª quincena de febrero, 2020 a junio, 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

Podemos distinguir dos etapas [ver gráfico 1]: La primera es una etapa de *bear market* o mercado bajista, que va desde finales de febrero hasta finales de abril, donde la COVID-19 tiene su mayor impacto. Y, la segunda etapa, en cambio, es una de *bull market* o mercado alcista, que va desde finales de abril hasta finales de junio, que no es más que una corrección a la sobreacción del mercado durante los primeros meses de la pandemia.

Durante los meses previos a los que podemos apreciar en el gráfico, es decir, antes del mes de febrero, entre diciembre y enero, que fue cuando se detectaron los primeros casos de COVID-19 en Asia, la situación de los precios del petróleo era la siguiente:

En el mes de diciembre, los precios se encontraban evolucionando positivamente, hasta que se detectó el primer caso del virus en Wuhan, China, y la OPEP+ tomó la decisión de intensificar ciertos recortes que ya venían haciendo en las cuotas de producción de petróleo por parte del grupo. Esto lo hicieron para estabilizar los precios

en el mercado, ya que en estos momentos se empieza a ver una caída considerable en la demanda de petróleo en el país asiático. Por lo tanto, la OPEP+ reduce el factor oferta o producción para evitar una caída de los precios por la disminución del factor demanda o consumo en el mercado chino.

Desde que comienzan a verse los primeros casos, durante el mes de diciembre y enero, se analiza el brote y se concluye que no es de importancia, pues se dice que este virus supondrá menores problemas económicos y menor letalidad que otros virus pasados, como el del SARS en 2003. Además, se confía en la capacidad de las autoridades chinas para controlar el brote. Como consecuencia a esta tranquilidad, los precios no caen excesivamente.

Sin embargo, el factor demanda sigue cayendo a pesar del esfuerzo de la OPEP+ de reducir el factor oferta, y ahora no solo en China, sino también en otros países a los que el virus se ha extendido, exactamente a más de 10 en estos mismos instantes. Además, la tasa de mortalidad no deja de aumentar. El COVID-19 es ahora una pandemia y se convierte en un shock externo sin precedentes para el mercado.

En el mes de febrero, se pueden ver los primeros efectos de la pandemia en los precios del petróleo por la reducción de la demanda, ya no solo en China, sino también en más países. El mercado global de petróleo entra ahora en un *bear market* o en una espiral o tendencia bajista, como se puede ver en el gráfico a final de este mes. Por ello, el principal grupo de productores, la OPEP+, se reúne con emergencia en el Joint Technical Committee (JTC) para dar una respuesta eficiente a los efectos del virus en el mercado.

Sin embargo, las conclusiones del encuentro son que la situación no es más que una sobrerreacción del mercado y que el efecto negativo que se empieza a ver en los precios del petróleo se debe solo a factores psicológicos de los inversores, que están sobre reaccionando ante una situación caracterizada por un vacío o falta de información. También se concluye que el impacto del virus será localizado y limitado.

En estos momentos, la demanda de petróleo en China ha caído un 20% o 3 millones de barriles al día, según oficiales chinos, siendo la demanda más baja desde hace 10 años o incluso desde la crisis financiera de 2007-2008. Es en estos momentos cuando

se informa por la Agencia Internacional de Energía (EIA) de que los efectos de la COVID-19 pueden ser peor de lo que se anticipaban. Vemos su efecto en el mercado.

Arabia Saudí, miembro de la OPEP+, demanda mayores recortes de producción para salvar los precios del petróleo, pero Rusia cree que es demasiado pronto para tomar cualquier decisión. La caída de la demanda del petróleo ya es de un 30%, mientras que se comienza a forjar una gran hostilidad entre la Rystad y Moscú, no alcanzándose ningún acuerdo sobre los recortes de las cuotas de producción y dando lugar a la famosa guerra de precios dentro del seno de la OPEP+.

La guerra de precios comienza porque los recortes de la producción o de la oferta son aún menores que la disminución de la demanda o consumo de petróleo. Por ello, ciertos miembros de la OPEP+ — Arabia Saudí — prefieren sacrificar cuota de mercado, es decir producir menos, a costa de mantener unos precios del petróleo más elevados, mientras que otros miembros de la organización — Rusia — prefieren lo contrario.

En marzo, comenzamos a ver una gran caída inicial de los precios del petróleo, como se observa en el gráfico. Esto es resultado del inicio de la guerra de precios entre dos oferentes o productores, Arabia Saudí y Rusia, y también resultado de la expansión geográfica del virus.

Durante este mes, EE. UU. sigue los pasos de Europa y Europa sigue los pasos de China, y ambos territorios comienzan sus cuarentenas, empujando más a la baja los precios del *commodity*. La razón es la paralización de la actividad económica como resultado de la cuarentena, que disminuye la demanda o el consumo de petróleo.

En el caso de EE. UU., la Reserva Federal recorta la tasa de interés, y en Europa también se reciben estímulos fiscales por parte de los diferentes bancos centrales. Sin embargo, al encontrarse los mercados en pánico, las medidas carecen de efectividad, ya que tanto inversores como consumidores no tienen confianza, hundiéndose los precios del petróleo cada vez más.

En definitiva, hay una crisis de sobreoferta. El mercado está inundado de petróleo barato, produciéndose el mayor superávit o exceso de oferta jamás visto en la historia en un solo trimestre. En estos momentos, hay un desbalance de 10 millones de barriles al día y la infraestructura global de almacenamiento de petróleo se empieza a poner en cuestión, ya que en un par de meses no se podrá ser capaz de almacenar más excedente de petróleo,

estando ya al 76% de la capacidad; si se sigue almacenando a las tasas actuales será insostenible. Nunca se había puesto tan al límite la capacidad logística de la industria, y esto impulsa los precios del petróleo aún más hacia abajo.

El mes de abril, mes que denominaron *black April* o abril negro, alrededor de 3 billones de personas se encuentran en cuarentena, destruyéndose en 20 millones de barriles al día la demanda global de petróleo. Fue el mes en el que más sufrió la demanda de crudo.

En este mes todavía no hay ningún progreso en el acuerdo sobre los recortes de la producción por parte de la OPEP+, continuando la guerra de precios en el seno de la organización productora y continuando la caída de los precios en el mercado. En este momento, la tasa de utilización de las refinerías es del 70%, la más baja desde 1985 según la EIA.

En mayo, finalizan numerosas cuarentenas y se alcanza finalmente un acuerdo en el recorte de las cuotas de producción de la OPEP+, terminándose así la guerra de precios y comenzando a recuperarse los precios, como podemos ver en el gráfico. Sin embargo, se trata de una recuperación lenta y frágil, pues una segunda ola de COVID-19 es muy posible con la reapertura de las economías y el fin del aislamiento. En este mes, se dan las cuotas más bajas de producción vistas en años, desde la guerra del Golfo en 1991.

Finalmente, en junio y julio, como se puede observar en el gráfico, se continúa con la recuperación lenta de los precios y la tendencia vuelve a ser alcista o el comienzo de un *bull market*, aunque el efecto en los precios del petróleo será permanente y probablemente no se vuelvan a recuperar los niveles previos a la pandemia.

Por lo tanto, durante estos meses, observamos una recuperación continua de los precios del petróleo, aunque podemos ocurrir pequeñas caídas por aumentos puntuales de los casos. No obstante, la tendencia es alcista en general, gracias al fin de las cuarentenas, la reapertura de las economías y los estímulos fiscales, junto al positivismo para la investigación, elaboración y comercialización de una vacuna contra la COVID-19, sin duda uno de los mayores retos económicos, comerciales, logísticos, políticos y sanitarios del siglo.

[3. Análisis técnico]

3.1. Validez del análisis técnico

Antes de explicar las herramientas — indicadores bursátiles — que utilizaremos para llevar a cabo el análisis técnico de los precios del petróleo bajo la influencia del coronavirus (COVID-19), tendremos que explicar antes cuál es el método que utilizaremos para hacerlo, así como su validez.

Para nuestro análisis utilizaremos, como indica el título de esta sección, un análisis técnico. No obstante, hay otro tipo de análisis al que también hemos acudido para analizar los precios del crudo en la sección anterior: el análisis fundamental. De ambos análisis, hablaremos sobre las suposiciones de las que parten para interpretar el comportamiento de los precios en el mercado, así como de las diferencias que existen entre ellos.

En primer lugar, hablaremos sobre el análisis técnico. Este se basa en “el estudio de los movimientos del mercado, principalmente mediante el uso de gráficos, con el propósito de pronosticar las futuras tendencias de los precios” (Murphy, 1986, p. 27). Es decir, el análisis técnico trata de explicar el precio de un activo en base a modelos de comportamiento y ayudándose de tres fuentes principales de información: “precio, volumen e interés abierto” (Murphy, 1986, p. 27).

Por su parte, el análisis fundamental se basa en que la cotización de las acciones de los diferentes activos depende de la realidad económico-financiera respecto al activo y su entorno. Es decir, para determinar el valor intrínseco⁵ de una acción, el análisis fundamental analiza los factores económicos y financieros que afectan al precio, que son los seis que hemos descrito en la sección anterior.

El análisis técnico sostiene que no es necesario conocer el análisis fundamental o de noticias que causan acciones en el precio, sino que, con analizar los gráficos, es suficiente. Es más, el análisis técnico tiende a alejarse lo máximo posible de la información fundamental, argumentando que es humanamente imposible interpretar absoluta y debidamente todas las noticias que afectan al precio y que, de hecho, pueden llevar a tomar decisiones erróneas.

⁵ El valor intrínseco es el precio real de un activo. En otras palabras, el valor intrínseco es lo que realmente vale una acción. Se basa en los principios de oferta y demanda: Si el valor intrínseco se encuentra por debajo del valor actual, el mercado estará sobrevaluado y deberá ser vendido, y viceversa.

Las razones que explican lo anterior son las tres premisas en las que se basa el análisis técnico: “los movimientos del mercado lo descuentan todo⁶, los precios se mueven por tendencias y la historia se repite” (Murphy, 1986, p. 28). Las tendencias, en este caso, es uno de los conceptos más básicos del análisis técnico, y como dice la primera ley del movimiento de Isaac Newton, “es más probable que una tendencia en movimiento continúe a que retroceda” (Newton, 1687).

Sin embargo, ambas formas de análisis han de tenerse en cuenta si se quiere realizar un análisis más completo y acertado. Al fin y al cabo, el objetivo es el mismo, predecir la dirección del precio en el mercado, la diferencia es que “el análisis fundamentalista estudia la causa del movimiento del mercado, mientras que el técnico estudia el efecto” (Murphy, 1986, p. 31), es decir, las consecuencias.

En nuestro caso, hemos utilizado ambos análisis, el fundamentalista en la sección anterior y el técnico en esta sección. El objetivo es llevar a cabo un análisis más completo y acertado del efecto de la COVID-19 en los precios del petróleo en el mercado.

No obstante, le daremos más peso al análisis técnico que al análisis fundamental. Esto se debe a que los cambios de tendencia que se producen suelen comenzar con pocas noticias que los soporten. Es decir, que en el momento en el que el análisis fundamental puede confirmar un cambio de tendencia, este ya ha avanzado de manera considerable.

Sin embargo, el análisis fundamental o económico llevado a cabo en la anterior sección no queda, ni mucho menos, invalidado, simplemente es complementario al análisis técnico que realizaremos a continuación, que quizás explique mejor, o de manera más racional, el movimiento de los precios del petróleo en el mercado, en otras palabras, su volatilidad.

⁶ Con esto nos referimos a que cualquier factor que pueda afectar al precio ya está reflejado en el precio de ese mercado. Por ejemplo, los factores oferta y demanda, el posible exceso o escasez de alguno, ya está recogido en los precios del mercado, subiendo o bajando el precio como resultado: si la demanda es superior a la oferta, los precios deberían subir, y si la oferta es superior a la demanda, los precios deberían bajar. En otras palabras, “si los precios están subiendo, independientemente de las razones específicas, la demanda debe superar la oferta y los fundamentos deben ser alcistas. Si los precios caen, los fundamentos deben ser bajista” (Murphy, 1986, p. 28).

3.2. Modalidad gráfica

La modalidad que utilizaremos en los gráficos de precios del mercado de petróleo tendrá las siguientes características, para facilitar y acotar el análisis.

En primer lugar, el tipo de gráfico que utilizaremos será un gráfico de velas japonesas. Cada vela representa el precio que toma el petróleo en un único día, representando, gracias a sus extremos y mecha, precios máximos y mínimos para ese día. Otras opciones son los gráficos de líneas o de barras, pero las velas japonesas nos ofrecen un análisis más sofisticado, así como más información de los precios, por eso nos hemos decantado por esta modalidad.

En segundo lugar, utilizaremos un gráfico de escala logarítmica. La escala aritmética puede ser otra opción. Sin embargo, la primera nos ofrece un análisis más complejo o ajustado a la realidad. Por ello utilizaremos esta escala, la logarítmica, para nuestro análisis de los precios del petróleo.

En tercer lugar, utilizaremos un intervalo en los gráficos de 4 horas. Las posibilidades son innumerables para los intervalos de análisis, ninguno es mejor que otro, sino que cada uno es apropiado dependiendo del análisis que se quiera llevar a cabo, así como de la extensión temporal. En nuestro caso, nos hemos decantado por un periodo de 4 horas ya que encaja con la extensión temporal del análisis que queremos realizar. Hablaremos de ella en los siguientes dos párrafos.

En cuarto y último lugar, hablaremos de la extensión temporal del análisis, que serán los seis primeros meses del año, es decir el primer semestre de 2020. La razón por la cual hemos escogido esta extensión temporal es la siguiente:

La razón de esta delimitación temporal es simplemente el mayor interés que nos proporciona el análisis técnico en los meses más afectados por la pandemia. En otras palabras, como es en estos primeros seis meses donde se produce una mayor volatilidad de los precios del petróleo en el mercado, resulta más interesante analizarlo técnicamente con los diferentes indicadores bursátiles que los seis meses posteriores, donde la volatilidad es mucho menor debido a la reducción de la incertidumbre inicial que causa la sobrereacción del mercado.

3.3. Indicadores bursátiles

Los indicadores bursátiles son herramientas, instrumentos o métodos de análisis que, en función de unos datos actuales o pasados, determinan las tendencias o precios de los activos que cotizan en la Bolsa (Centro de Educación Bursátil, s.f.). Su objetivo es la formulación de hipótesis sobre el funcionamiento del mercado o de un determinado valor de este (Centro de Educación Bursátil, s.f.) para poder tomar decisiones respecto a estas.

En definitiva, su uso consiste en predecir las cotizaciones bursátiles de los diferentes activos en el mercado. Los indicadores que utilizaremos en nuestro análisis y que explicaremos a continuación son cinco: Medias móviles, Bandas de Bollinger, Canal de Keltner, Williams Percent Range (Williams %r) y Average Directional Index (ADX).

3.3.1. Medias móviles

Uno de los indicadores bursátiles más sencillos, pero también de los de uso más extendido por su versatilidad y no equivocidad, son las medias móviles.

Se definen como “un promedio de un cierto bloque de información” (Murphy, 1986, p. 222) y su uso tiene numerosas funciones, simples pero precisas⁷. Por ello, las medias móviles nos serán especialmente útiles en el análisis de un tema complejo, como el de los precios del petróleo tras el coronavirus (COVID-19).

En definitiva, las funciones de este indicador bursátil esencial se pueden resumir en tres. Dos funciones principales, que son la detección de tendencias subyacentes y la detección de extremos de mercado, y una función restante que es resultado de las dos anteriores, y esta es la detección de cambios de la tendencia del mercado.

En cuanto al uso de las medias móviles como detector de tendencias subyacentes en el mercado de crudo, estas nos darán señales y nos harán un seguimiento del avance de las tendencias de los precios del *commodity*. Esta función de detección de tendencias

⁷ A pesar de hablar de no equivocidad o precisión, las medias móviles realmente están calculando el precio promedio móvil de un periodo en el pasado. Es decir que, para su cálculo, se han parametrizado los últimos periodos, por lo que una media móvil no predice, sino que resume lo que ha pasado. Por esto mismo, estos indicadores llevan retardo, pues es un resultado de realizar cálculos sobre datos (precios) pasados. En consecuencia, se puede decir que una media móvil no anticipa, sino que informa, ya que el cambio ya se ha producido al “ir por detrás del movimiento del mercado” (Murphy, 1986, p. 225). A este fenómeno se le denomina *desfase cronológico*.

es posible ya que las medias móviles se encargan de “filtrar el ruido del mercado” al eliminar movimientos de menor importancia en los precios. Por lo tanto, se consigue que “los movimientos de la media móvil sean más suaves que los propios movimientos del precio” (Murphy, 1986, p. 225).

Esto es especialmente útil en nuestro análisis ya que estos movimientos de menor importancia podrían estar enmascarando lo que realmente está haciendo el mercado del petróleo como consecuencia a la COVID-19. En definitiva, esta función de las medias móviles detectará y aclarará el sentido de la tendencia del mercado del petróleo gracias a una línea suave de sus precios que “facilita así la visión de la tendencia subyacente” (Murphy, 1986, p. 225).

Ahora, en cuanto al uso de las medias móviles como detector de extremos de mercado, la utilidad de esta segunda función del indicador radica en que nos ayudan a identificar precios extremos del petróleo. Es decir, las medias móviles nos indicarían si el petróleo está “sobrecapado” o “sobrevendido” en el mercado. En otras palabras, si hay un exceso de demanda de petróleo en el primer caso o si hay un exceso de oferta de petróleo en el segundo caso.

Esto es posible puesto que como todos los datos de una distribución tienden a agruparse en torno a su media, si hubiese algún impulso que aleje el precio del crudo de su media móvil, este regresaría a su media en algún momento, pues si se aleja en exceso se producirá una corrección. Por lo tanto, si el precio del crudo está alejado de su media móvil, visualmente se podrá apreciar con facilidad la zona de sobrecompra o de sobreventa.

Esta función en concreto resulta especialmente útil ya que estas mismas indicaciones de extremos de precios generan, en la mayoría de los casos, lo que se denomina señales de compraventa. Estas señales de compra o “posición larga” (cuando el precio está cerca del límite inferior) y señales de venta o “posición corta” (cuando el precio está cerca del límite superior) se generan cuando el precio cruza o sobrepasa la línea de media móvil en una dirección concreta. El razonamiento de esta afirmación lo encontramos en el párrafo anterior, estando basado en el principio estadístico de que todo regresa a su media en algún momento.

Por último, en cuanto al uso de las medias móviles como detector de cambios de la tendencia del mercado, este indicador lo que hará es avisarnos de si ha comenzado una nueva tendencia en el mercado de crudo o, en otras palabras, de si ha terminado una tendencia antigua. Es decir, nos avisaría acerca de si ha cambiado la dirección del mercado por una nueva o diferente trayectoria continuada de los precios del petróleo.

Esto es posible ya que las medias móviles detectarán muy bien cuando una tendencia esté perdiendo momento o, lo que es igual, esté por finalizar, y en consecuencia empiece otra nueva, la contraria a la anterior, por la naturaleza cíclica del mercado.

En nuestro análisis de los precios del petróleo tras la COVID-19, hemos decidido utilizar dos medias móviles, una larga (20 periodos) y otra corta (5 periodos). Los periodos hacen referencia al número de los últimos datos de precios de cierre de la cotización. Esta decisión se justifica por dos simples razones:

En primer lugar, el hecho de utilizar varias medias en nuestro análisis nos proporcionará una herramienta adicional de predicción⁸, ya que los cruces o cortes entre ambas generará señales que son más certeras que las señales que generaría una sola media móvil. En definitiva, utilizar una media móvil adicional resulta un gran complemento para nuestro análisis.

Y, en segundo lugar, el desfase cronológico resultante de la propia naturaleza analítica de las medias móviles se podrá “suavizar” o reducir con medias más cortas. Esto se debe a que las medias más cortas son más sensibles a los movimientos de los precios⁹. Sin embargo, “el desfase cronológico no se puede eliminar nunca en su totalidad” (Murphy, 1986, p.225).

Por otro lado, en nuestro análisis, hemos decidido utilizar medias móviles exponenciales en detrimento de medias móviles simples o aritméticas y ponderadas. La razón por la cual hemos descartado las anteriores y hemos decidido utilizar una media móvil exponencial es porque la primera media (media móvil simple o aritmética), a pesar de ser más sencilla, actuará con mayor lentitud para adaptarse a los cambios más recientes

⁸ Es el llamado “método de doble cruce”, que consiste en la generación de una señal de compra cuando la media móvil corta cruza por encima a la media móvil larga, y viceversa para la señal de venta.

⁹ No obstante, la contrapartida de una media más corta, y por lo tanto más suave y sensible, es un mayor ruido. Por lo tanto, se produce un *trade-off* entre retardo y ruido. A una media más corta y en consecuencia con menor retardo, se produce un mayor ruido, y viceversa.

en el precio del petróleo, ya que se les da el mismo peso a todos los datos del periodo, es decir que ponderan por igual. Y la segunda media (media móvil ponderada) la hemos descartado por preferencia personal, ya que es un poco menos completa que la media móvil exponencial, que es la que hemos escogido.

Por lo tanto, la media móvil exponencial es la que utilizaremos en nuestro análisis. Esta priorizará o asignará una mayor carga de importancia a los últimos periodos, que son los más recientes, y menos a los más antiguos. De esta manera, la media móvil exponencial reaccionará mejor a los cambios recientes en el precio del crudo. Sin embargo, hay que decir que no existe una media móvil mejor que otra, todas son útiles.

En el siguiente gráfico del mercado de petróleo, podemos ver representadas las dos medias móviles exponenciales, la de 5 periodos y la de 20 periodos. Simultáneamente, podemos observar el comportamiento del precio del *commodity* y como interactúa con este indicador bursátil generando señales [ver gráfico 2].

[Gráfico 2]: Precio (\$USD) del petróleo (2ª quincena de febrero, 2020 a junio, 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

Podemos observar que cada vez que ambas medias móviles se juntan o estrechan, se produce un considerable cambio en los precios del petróleo, y que, durante esa gran variación del precio, las medias permanecen separadas o ensanchadas. Luego con la

corrección se vuelven a acercar. En resumen, frente a un gran cambio en el mercado de crudo, observamos una separación entre las dos medias móviles exponenciales, reflejando volatilidad en este mercado o gran variabilidad de sus precios.

Identificamos dos puntos críticos principales: a principios del mes de marzo y a finales del mes de abril, que coinciden con los dos meses más azotados o afectados de la pandemia. Estos son los más marcados, pero hay otros puntos críticos secundarios. También podemos observar las zonas de sobrecompra y sobreventa que nos da pista del comportamiento de los inversores en el mercado en cada momento.

3.3.2. Bandas de Bollinger

Este indicador bursátil es complementario al anterior, las medias móviles. Presentan funciones muy similares, así como con el canal de Keltner, que veremos más adelante.

Las bandas de Bollinger son, como su propio nombre indica, una serie de bandas de fluctuación que se sitúan alrededor de la media móvil a x desviaciones típicas por encima y por debajo de ésta. Su función principal es la detección de cambios de tendencia y de cotizaciones máximas, así como de la medición de la volatilidad existente en el mercado, que se puede apreciar muy bien visualmente.

Exactamente, las bandas son tres: una superior, una inferior y una media. Estas se contraen o se expanden en función a la volatilidad del mercado, de ahí que se sitúen a x desviaciones típicas de la media móvil, pues la desviación típica “describe cómo se dispersan los datos alrededor de un valor promedio” (Murphy, 1986, p. 236). En nuestro caso, los datos son las cotizaciones o los precios del petróleo en el rango de tiempo seleccionado, que son los meses más afectados por la pandemia de la COVID-19.

El funcionamiento de las bandas consiste en que la banda inferior y la superior crean un canal que encierra la fluctuación del precio del petróleo, de hecho, “el 95% del precio caerá dentro de las dos bandas de fluctuación” (Murphy, 1986, p. 236). Estas se adaptan a la volatilidad del mercado del crudo mediante su ensanchamiento (mayor volatilidad y desviación típica) o su estrechamiento (menor volatilidad y desviación típica), hasta que el que el precio del *commodity* las sobrepasa, rompiendo el canal.

Cuando se cruce cualquiera de las dos bandas, se está señalizando el comienzo de una nueva tendencia, o el fin de una tendencia antigua. Y en los casos en los que las

bandas se encuentren muy separadas entre ellas, quiere decir que la tendencia del mercado se está desarrollando. Cuando, de lo contrario, se encuentren muy juntas, significa que se va a dar un cambio de tendencia, al “soltar la tensión” acumulada¹⁰.

Las bandas de Bollinger también nos servirán para detectar cotizaciones extremas del petróleo, ya que ilustra muy bien cuando el precio se aleja en exceso de las bandas, así como para generar señales de compra (cuando el precio cierra por debajo o justo por encima de la banda inferior) y venta (cuando el precio cierra por encima o justo por debajo de la banda superior). “Los precios se consideran sobre extendidos en el lado superior (sobrecomprados) cuando alcanzan la banda superior y sobre extendidos en el lado inferior (sobrevendidos) cuando alcanzan la inferior” (Murphy, 1986, p. 236).

Estos hacen referencia a los famosos patrones técnicos de vuelta que se basan en la lógica de que para que una tendencia continúe, el precio ha de acercarse o incluso rebasar la banda del lado de la tendencia. Si ocurriese lo contrario, la tendencia estaría llegando a su fin, siendo probable que el precio del petróleo se “diese la vuelta” pronto.

[Gráfico 3]: Precio (\$USD) del petróleo (2ª quincena de febrero, 2020 a junio, 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

¹⁰ Son los llamados “patrones de explosión de volatilidad” (hombros-cabeza-hombros, hombros-cabeza-hombros invertido, etc.).

Si aplicamos las bandas de Bollinger [ver gráfico 3], podemos ver reflejada con gran claridad la volatilidad en el mercado de este *commodity* cada vez que las bandas se ensanchan.

Por ejemplo, se puede observar muy bien como la volatilidad es mucho mayor en los primeros meses posteriores al estallido y expansión de la pandemia (febrero, marzo y abril) que en los posteriores (mayo y junio), pues las bandas son mucho más anchas y variables en los primeros meses, y más estrechas y estables en los últimos meses de nuestro análisis.

Por otro lado, también podemos observar cotizaciones extremas, que se dan cada vez que las velas de precio del petróleo sobrepasan la banda inferior o superior. La más destacable es la de finales del mes de abril, pues se creó una zona de sobreventa por el pánico producido por los efectos reales de la COVID-19.

3.3.3. Canal de Keltner

Este indicador bursátil es muy similar a las bandas de Bollinger, como hemos mencionado anteriormente. No obstante, a pesar de presentar funciones similares, su uso conjunto es muy complementario y útil. Lo veremos posteriormente.

El canal de Keltner es, como su propio nombre indica, un canal de volatilidad basado en una media y una desviación por encima o por debajo de esa media. Este canal, encerrará el precio del petróleo y nos indicará su volatilidad en el mercado. Estas dos características, si nos fijamos, las comparte con el indicador de la sección anterior, las bandas de Bollinger.

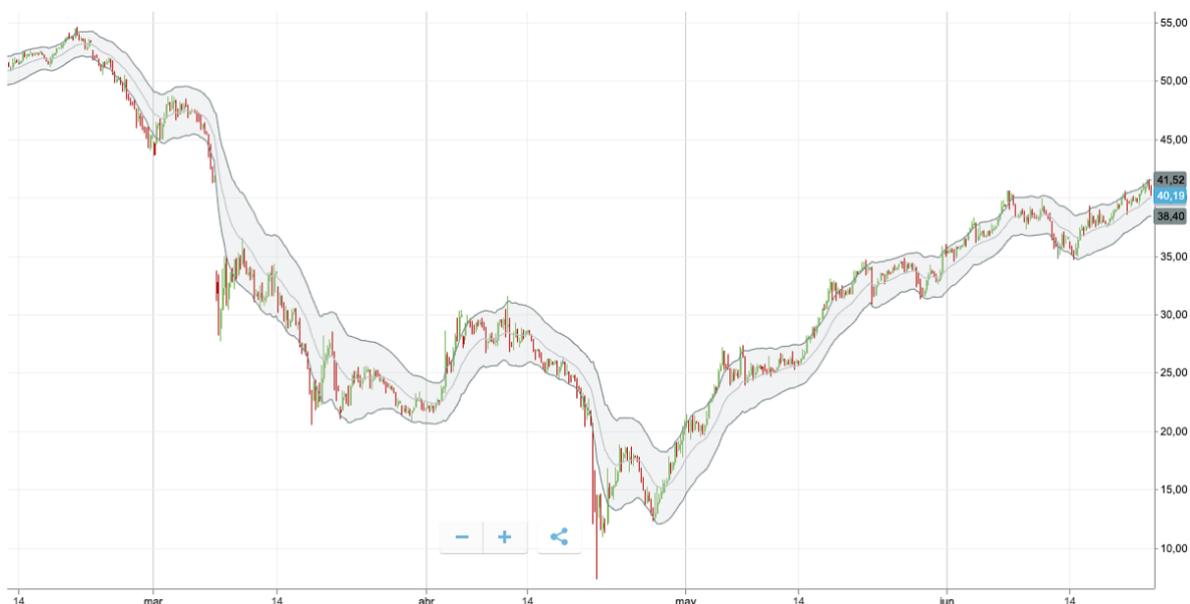
El canal lo forman de nuevo tres bandas, una superior (exterior), una media (interior) y una inferior (exterior). La banda del medio o interior es la más importante, ya que es la que mide la volatilidad del mercado dependiendo de la apertura del centro a las bandas exteriores. Si las bandas que conforman el canal se ensanchan, el precio oscila más rápido y por lo tanto existe una mayor volatilidad en el mercado. De lo contrario, si las bandas se estrechan, el precio oscila más lentamente y por lo tanto el mercado presenta una volatilidad menor.

El canal indicará la tendencia. Si el canal es descendente, la tendencia será bajista o un *bear market*. Si el canal es ascendente, la tendencia será alcista o un *bull market*.

Además, si las velas del precio del crudo sobrepasan las líneas o bandas que conforman el canal, se estará anticipando una tendencia en el mercado, alcista o bajista, dependiendo de la banda que se sobrepase.

Estas bandas del canal de Keltner actúan, al igual que las de Bollinger, como soportes y resistencias, que detienen el precio por abajo en el caso de los soportes, y por arriba en el caso de las resistencias. Sin embargo, estos soportes y resistencias se pueden romper¹¹, causando precios mínimos y máximos del crudo, aunque el precio se suele encontrar dentro de las bandas la mayoría del tiempo. Además, tras la ruptura, siempre se producirá un retorno del precio, pues es atraído por su media por el principio estadístico de que todo dato regresa a su media en algún momento.

[Gráfico 4]: Precio (\$USD) del petróleo (2ª quincena de febrero, 2020 a junio, 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

Podemos observar [ver gráfico 4] como el canal de Keltner nos informa, a través del ensanchamiento y estrechamiento del canal, de la volatilidad que está sufriendo los precios del petróleo en el mercado. Podemos observar que es mayor cuando mayor es el movimiento o variabilidad de precios, sobre todo a principios de marzo y finales de abril.

¹¹ A este fenómeno se le denomina “rompimiento técnico del canal de Keltner”.

3.3.3.1. Canal de Keltner + Bandas de Bollinger

El canal de Keltner y las bandas de Bollinger resultan de utilidad analítica limitada si se usan individualmente, ya que proporcionan una información muy básica que comparten además con otros muchos indicadores. Por ello, el verdadero valor analítico de estos dos indicadores bursátiles reside en su uso conjunto, ya que proporcionan más información y de mayor valor que cada indicador por si solo. Ahora lo veremos.

Antes de ver la utilidad conjunta del canal de Keltner y las bandas de Bollinger para nuestro análisis, vamos a ver las diferencias entre ambos indicadores, ya que, a pesar de ser muy similares, presentan numerosos contrastes:

En primer lugar, el canal de Keltner no presenta *squeezes* y *releases* tan marcados como las bandas de Bollinger. Esto se debe a que las bandas de Bollinger son más sensibles a la volatilidad que el canal de Keltner, por lo tanto, estas se dilatarán y contraerán más como consecuencia a los cambios en los precios del petróleo.

En segundo lugar, y como resultado de la primera diferencia entre ambos indicadores, el canal de Keltner es mucho menos amplio o ancho que las bandas de Bollinger. En consecuencia, se apreciará significativamente menos las “vueltas” de los precios del petróleo, es decir, los cambios de tendencia que sufra el *commodity*.

Y, en tercer y último lugar, como consecuencia a las dos anteriores, el canal de Keltner está menos utilizado o su uso está menos extendido que el de las bandas de Bollinger. Por lo tanto, como es menos conocido, presenta una ventaja que podría sernos útil, y es que puede resultar un indicador más fiable para nuestro análisis de los precios del crudo. Esto se debe a que, al ser menos utilizado por los *traders*, se elimina parte de la probabilidad de que genere señales falsas porque el mercado se vea influenciado.

Una vez vistas las diferencias entre los dos indicadores bursátiles, vamos a comprobar la utilidad analítica que nos proporcionaría su complementariedad, esto es el uso de ambos indicadores al mismo tiempo para analizar los precios del petróleo. Principalmente, tiene dos funciones o utilidades:

Por un lado, la anticipación de cambios en la dirección de los precios. El uso complementario del canal de Keltner y de las bandas de Bollinger predecirán de manera

anticipada grandes movimientos del precio del crudo, no cambios menores que pueden resultar de mayor indiferencia.

La señal que nos avisa de que se va a producir un gran cambio en la dirección del precio del petróleo, hacia arriba o hacia abajo, es la superposición de ambos indicadores de manera que las bandas de Bollinger se encuentren por dentro del canal de Keltner. La entrada o el paso de las bandas en el canal debe de ser consistente, un simple rozamiento no se considerará decisivo.

Por otro lado, la generación de señales fiables de compraventa del *commodity*. Si la vela de precio cierra por debajo del canal de Keltner y las bandas de Bollinger, se genera una señal de compra. Si la vela de precio cierra por encima del canal y de las bandas, se genera una señal de venta. Es sencillo pero efectivo al mismo tiempo, ya que se juntan dos indicadores diferentes para generar señales, aumentando así su fiabilidad.

[Gráfico 5]: Precio (\$USD) del petróleo (2ª quincena de febrero, 2020 a junio, 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

Gracias a el uso conjunto de ambos indicadores [ver gráfico 5], podemos observar un fuerte movimiento o cambio del precio del petróleo al inicio de la pandemia en el mes de febrero, o meses más tarde en abril. Si nos fijamos, ambos están precedidos por una fuerte contracción y una posterior gran dilatación del conducto, sobre todo por parte de las bandas de Bollinger. También podemos ver como las bandas de Bollinger invaden el

canal de Keltner, que es otra señal que predice el gran movimiento en la dirección de los precios del petróleo.

3.3.4. Williams percent range (Williams %R)

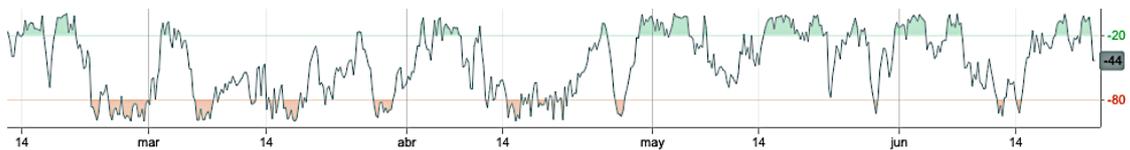
Este indicador bursátil, de nuevo, es uno que por si solo no proporciona tanta información como lo haría en conjunto con otros indicadores. Es más, utilizarlo por si mismo sin otro indicador que lo complemente podría generar señales erróneas. En este caso, lo usaremos como complemento al canal de Keltner para analizar los precios del crudo.

Este indicador en concreto se representa en una escala que está situada por debajo de la ventana principal, por lo que va del 0 al -100. Su utilidad analítica reside en la detección de zonas de sobrecompra (0 a -20) y zonas de “agotamiento de sobrecompra” (de -80 a -100) para la generación de señales de compraventa y adopción, en consecuencia, de una posición corta o larga en el mercado del crudo. La media se sitúa, lógicamente, en el -50.

Una señal de compra se produce cuando la línea del Williams %R cruza de abajo hacia arriba o bien el límite inferior de la zona de sobrecompra (-20) o bien el límite superior de la zona de agotamiento de sobrecompra (-80). Y una señal de venta se produce cuando la línea cruza, esta vez, de arriba hacia abajo cualquiera de las dos zonas.

Hay que tener en cuenta que la acción de compra o de venta deberá ir acompañada de una tendencia que la refuerce: “comprar cuando el mercado esté sobrevendido en una tendencia alcista [...] y vender cuando el mercado esté sobrecomprado en una tendencia bajista” (Murphy, 1986, p. 276).

[Gráfico 6]: Precio (\$USD) del petróleo (2ª quincena de febrero, 2020 a junio, 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

Podemos observar perfectamente las zonas de sobrecompra (en verde) y las zonas de agotamiento de sobrecompra (en rojo) [ver gráfico 6]:

Por un lado, podemos ver como las primeras son más numerosas al final del periodo, a partir del mes de mayo, pues se corresponde con una recuperación de los precios del petróleo en los últimos meses.

Y, por otro lado, podemos ver como las segundas son más numerosas al principio del periodo, desde finales de febrero hasta finales de abril, pues coincide con la gran caída que sufre el petróleo en los primeros meses de la pandemia por la primera reacción al COVID-19, lo que causó pánico en el mercado y los inversores apostaron por deshacerse de sus posiciones al avecinar un duro golpe para el *commodity*.

3.3.4.1. Williams %R + Canal de Keltner

El uso combinado de estos dos indicadores nos ofrece de nuevo una utilidad parecida, aunque complementaria, a la de otros indicadores. Principalmente, la conjunción del Williams %R y del canal de Keltner nos permitirá identificar señales de compraventa con la condición suficiente y necesaria de que se den las siguientes premisas y al mismo tiempo:

Primero, tiene que haber presencia de áreas sobrecompradas o sobrevendidas. Y, segundo, tiene que producirse una ruptura del canal de Keltner por medio de dos velas consecutivas que queden completamente por encima o por debajo del canal. Si alguna de las dos premisas no se cumple, por ejemplo, que cruce solo la mecha de las velas y no el cuerpo entero, o que solo cruce el canal una sola vela, se generarían señales que pueden resultar erróneas.

Este indicador nos ayudará a identificar los momentos en los que los inversores entran en o salen del mercado, que será como reacción a eventos concretos relacionados con la COVID-19. Por ejemplo, varias noticias adversas bastan para empujar rápidamente los precios del petróleo en dirección contraria.

No obstante, los precios en un área sobrevenida (por debajo del 25%) no reaccionan a las noticias bajistas, pues “todas las malas noticias ya han sido completamente descontadas del bajo precio actual, pero cualquier noticia alcista empujará los precios hacia arriba” (Murphy, 1986, p. 285).

[Gráfico 7]: Precio (\$USD) del petróleo (2ª quincena de febrero, 2020 a junio, 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

Podemos ver el uso simultáneo de los dos indicadores [ver gráfico 7]. Se puede observar como coinciden las zonas de sobrecompra y de agotamiento de sobrecompra con las recuperaciones y depresiones de los precios, respectivamente.

3.3.5. Average Directional Index (ADX)

Este indicador bursátil, al igual que el Williams %R, también oscila en una escala entre dos valores, en este caso entre el 0 y el 100. Su uso tiene varios objetivos y su composición es la siguiente.

El ADX consiste en 3 líneas: una línea principal y dos secundarias. Dentro de las secundarias encontramos una positiva o *positive directional indicator* (+DI) y una negativa o *negative directional indicator* (-DI):

La primera línea nos informará de la presencia de movimientos alcistas, que será cuando esta corte a -DI desde abajo hacia arriba. Generará una señal de compra al medir los movimientos positivos o ascendentes.

Al contrario, la segunda línea nos informará de la presencia de movimientos bajistas, que será cuando esta corte a +DI desde abajo hacia arriba. Generará en este caso una señal de venta al medir los movimientos negativos o descendentes.

Por su parte, la línea principal indicará la existencia o no de una tendencia a corto plazo, es decir, una sub-tendencia dentro de la tendencia principal. Si la línea principal es ascendente, nos informará que existe una tendencia a corto plazo en el mercado del petróleo. Por el contrario, si la línea principal es descendente, querrá decir que no se identifica una tendencia a corto plazo.

Por lo tanto, el uso de este indicador nos ayudará, a determinar en qué fase de tendencia está el mercado del petróleo, al valorar la dirección o movimiento de los precios del *commodity*, y a identificar si existe una tendencia a corto plazo en el mercado.

[Gráfico 8]: Precio (\$USD) del petróleo (2ª quincena de febrero, 2020 a junio, 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

En la parte inferior, encontramos la representación gráfica del ADX [ver gráfico 8]. Podemos ver como las diferentes líneas nos informan de la existencia de tendencias, alcistas o bajistas, y de la fase en la que esta se encuentra, si está empezando o acabando.

3.4. Explicación técnica: Canales, Ondas de Elliot y números de Fibonacci.

En este apartado, extraeremos conclusiones complementarias acerca de la evolución de los precios del petróleo tras el coronavirus (COVID-19) a través de una serie de herramientas y teorías adicionales. De este modo, podremos completar la información que nos han proporcionado los indicadores bursátiles analizados y aplicados a los precios de petróleo en la sección anterior.

Para este análisis, vamos a observar el mercado de petróleo a largo plazo, es decir, ya no solo en el periodo estudiado (primer semestre de 2020) sino también en los últimos cinco años. Esto nos permitirá ver como venían evolucionando los precios del petróleo en el mercado y cual era la tendencia que precedía. Para ello, vamos a aplicar el uso de canales bursátiles, la teoría de Ondas de Elliot y los números de Fibonacci:

En primer lugar, los canales bursátiles son dos líneas, una de tendencia y otra paralela a esta, que delimitan el movimiento de la cotización de los precios de un activo (López, s.f.), en nuestro caso, del petróleo. El canal bursátil puede ser alcista, bajista o lateral y muestra dos cosas, el sentido de la tendencia y los cambios de tendencia a través de la ruptura del canal [ver gráfico 9].

[Gráfico 9]: Precio (\$USD) del petróleo (2016 a 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

Como se puede observar en el gráfico anterior, a través de los canales que hemos dibujado, se puede distinguir una clara, aunque modesta, tendencia alcista si miramos el mercado de petróleo en los últimos 5 años. No obstante, vemos como esta se rompe justamente al inicio del año 2020, el año donde estalla la COVID-19 a nivel global convirtiéndose en una pandemia, viéndose así su efecto en los mercados en este momento.

En segundo lugar, utilizaremos la teoría de las Ondas de Elliott, que es una continuación de la conocida teoría de Dow¹² y que también está relacionada con los números de Fibonacci, que explicaremos a continuación.

La teoría de las Ondas fue propuesta por Ralph Nelson Elliott en el año 1938 (Vázquez, s.f.). Simplemente, esta pretende establecer y compatibilizar una serie de leyes objetivas que rijan el mercado con la subjetividad producto de la psicología de masas. La teoría distingue entre la existencia de dos fases en el mercado, uno alcista o *bull market* y uno bajista o *bear market*, y cada fase la compone una serie de ondas. Efectivamente, nos indica de la tendencia subyacente y de la posible cercanía de una corrección o cambio de tendencia.

Estas ondas son de dos tipos, de impulso y de corrección (Vázquez, s.f.). En el caso de las primeras, son las que crean la tendencia, alcista o bajista, y se compone de cinco ondas (1, 2, 3, 4 y 5). En el caso de las segundas, son las que se mueven en dirección opuesta a la tendencia, de ahí que se denominen retrocesos. Las ondas correctivas son tres (A, B y C). Su representación gráfica la veremos junto a los números de Fibonacci.

En el tercer y último lugar, haremos uso de los números de Fibonacci, que se encuentran muy relacionados con la teoría de las ondas de Elliot, de hecho, es la fundamentación matemática de la misma.

Los números de Fibonacci son una sucesión o serie 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, ... descrita por el italiano Leonardo de Pisa. Curiosamente, estos coinciden en la mayoría de los casos con los picos máximos y mínimos de precios, como podemos ver representado gráficamente más abajo. Además, el número de ondas que forman la tendencia coincide con los números de Fibonacci (Vázquez, s.f.) [ver gráfico 10].

¹² Es la teoría de Charles Henry Dow, precursor del análisis técnico, a finales del siglo XIX. La Teoría de Dow determina que los precios en los mercados se mueven formando tres tendencias, una primaria, una secundaria y otra menor (López, s.f.).

[Gráfico 10]: Precio (\$USD) del petróleo (2016 a 2020).



Fuente: eToro

Edición: propia en eToro

Efectivamente, en el gráfico anterior, podemos ver como los picos de precios coinciden con los números de Fibonacci, así como la manera en que los precios obedecen a las ondas de Elliot.

A pesar de que hayamos utilizado un gráfico que abarque más temporalidad que la propia COVID-19, esto no sería de importancia y funcionaría igual en un gráfico de extensión más corta. Esto se debe a que las ondas de Elliot y los números de Fibonacci se pueden encontrar también dentro de las propias ondas individuales, por la naturaleza matemática del proceso en cuestión.

[4. Análisis matemático]

A continuación, para completar nuestro análisis económico y técnico acerca del comportamiento de los precios del petróleo tras la crisis del coronavirus (COVID-19), vamos a llevar a cabo un tercer análisis para terminar: el análisis matemático.

Este análisis consistirá en la utilización de modelos o procesos matemáticos para poder completar nuestra explicación o análisis acerca del efecto de la COVID-19 en la cotización del petróleo a lo largo del 2020. Los modelos o procesos utilizados serán dos: regresión lineal y parabólica y ecuaciones estocásticas, siguiendo el Modelo Browniano.

4.1. Regresión lineal y Parábola de regresión

La recta de regresión es la línea recta que mejor se ajusta a una serie de datos al minimizar los errores cuadráticos. En nuestro caso, nos permite establecer una correlación entre dos variables, una dependiente (y) que en nuestro caso será el precio del petróleo, y una independiente (x), en nuestro caso el tiempo, exactamente desde los primeros efectos de la COVID-19 en la bolsa en febrero de 2020, hasta su mayor corrección en junio de 2020.

En primer lugar, se han extraído 18 pares de datos significativos (máximos y mínimos locales) en la caída de los precios, que contienen la siguiente información el precio de cierre en un día determinado.

En la tabla 1, se pueden observar dichos pares (x, y) que se considerarán como puntos en un plano tiempo-precio. En dicho plano, es donde confeccionaremos nuestra recta de regresión, con el objetivo de minimizar el error cuadrático.

Y, en segundo lugar, para hacer los cálculos correspondientes, también se ha calculado, junto a los pares de puntos (x, y), los tiempos al cuadrado (x^2) así como el producto de los precios por los tiempos ($xi yi$) [ver tabla 1]. También hemos calculado el sumatorio de estas variables [ver tabla 2].

[Tabla 1]: Tiempo y precio (febrero, 2020 a junio, 2020).

| i | fecha | tiempo (x) | precio (y) | x^2 | xi yi |
|----|---------|------------|------------|-------|---------|
| 1 | 20/2/20 | 0 | 53,71 | 0 | 0,00 |
| 2 | 28/2/20 | 8 | 43,83 | 64 | 350,64 |
| 3 | 3/3/20 | 12 | 48,83 | 144 | 585,96 |
| 4 | 6/3/20 | 15 | 41,14 | 225 | 617,10 |
| 5 | 9/3/20 | 18 | 27,72 | 324 | 498,96 |
| 6 | 11/3/20 | 20 | 36,51 | 400 | 730,20 |
| 7 | 18/3/20 | 27 | 20,53 | 729 | 554,31 |
| 8 | 27/3/20 | 36 | 20,77 | 1296 | 747,72 |
| 9 | 9/4/20 | 49 | 31,38 | 2401 | 1537,62 |
| 10 | 21/4/20 | 61 | 7,23 | 3721 | 441,03 |
| 11 | 24/4/20 | 64 | 18,7 | 4096 | 1196,80 |
| 12 | 28/4/20 | 68 | 12,48 | 4624 | 848,64 |
| 13 | 6/5/20 | 76 | 27,36 | 5776 | 2079,36 |
| 14 | 28/5/20 | 98 | 31,14 | 9604 | 3051,72 |
| 15 | 8/6/20 | 109 | 40,78 | 11881 | 4445,02 |
| 16 | 15/6/20 | 116 | 34,56 | 13456 | 4008,96 |
| 17 | 23/6/20 | 124 | 41,63 | 15376 | 5162,12 |
| 18 | 29/6/20 | 130 | 37,48 | 16900 | 4872,40 |

Fuente: eToro

Edición: propia en Excel

[Tabla 2]: Tiempo y precio (febrero, 2020 a junio, 2020).

| $\sum xi$ | $\sum yi$ | $\sum x^2$ | $\sum xi yi$ |
|-----------|-----------|------------|--------------|
| 1031 | 575,78 | 91017 | 31728,56 |

Fuente: eToro

Edición: propia en Excel

Ahora, a partir de los mismos puntos de tiempo (xi) y de precio (yi) recogidos anteriormente, vamos a sacar la recta de regresión. Viene dada por la siguiente ecuación:

$$y = A + Bx$$

Para establecerla, debemos hallar las variables reales A y B, y lo haremos a partir de un sistema de ecuaciones con matrices. En nuestro sistema utilizaremos N, que no es más que el número de datos, en nuestro caso los puntos extraídos de la gráfica de precios del petróleo:

$$N = 18$$

Por lo tanto, nuestro sistema de ecuaciones con matrices, sin introducir los datos numéricos aún, queda de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} N & \sum xi \\ \sum xi & \sum xi^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum yi \\ \sum xi yi \end{pmatrix}$$

Ahora, despejamos las variables que queremos hallar, en nuestro caso, A y B ; a la primera matriz la denominaremos M :

$$M = \begin{pmatrix} N & \sum xi \\ \sum xi & \sum xi^2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = M^{-1} \begin{pmatrix} \sum yi \\ \sum xi yi \end{pmatrix}$$

Si ahora introducimos los datos en la ecuación, nuestro sistema con matrices quedaría así:

$$M = \begin{pmatrix} 18 & 1031 \\ 1031 & 91017 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = M^{-1} \begin{pmatrix} 575,78 \\ 31728,56 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,158 & -0,002 \\ -0,002 & 0,000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 575,78 \\ 31728,56 \end{pmatrix}$$

Y operamos:

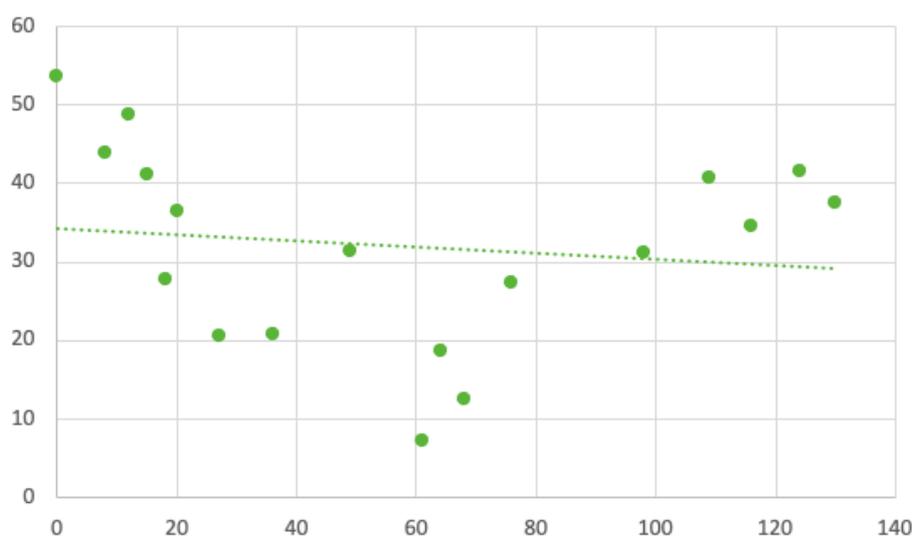
$$\begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 34,23 \\ -0,04 \end{pmatrix}$$

Por lo que, volviendo a la ecuación de la recta de regresión con forma $y = A + Bx$, esta nos quedaría resuelta de la siguiente manera:

$$y = 34,23x - 0,04$$

Podemos observar que la pendiente es, efectivamente, negativa, lo que refleja una tendencia descendiente o decreciente. No obstante, observamos que esta pendiente es tan solo de -0,04, por lo tanto, nos indica que no será muy pronunciada [ver gráfico 11].

[Gráfico 11]: Recta de regresión lineal ($y = 34,23x - 0,04$)



Fuente: eToro

Edición: propia en Excel

A continuación, vamos a llevar a cabo una comparación de la recta de regresión del petróleo con otros índices y activos, exactamente el oro, el índice Dow Jones y el aluminio, a través del coeficiente de correlación de Pearson, el cual es una medida de la dependencia lineal entre variables y, por lo tanto, nos permitirá observar la relación entre las variables mencionadas [ver gráfico 12]. Hemos recogido los datos de sus cotizaciones en las mismas fechas que lo hicimos con el petróleo [ver tabla 3 y 4].

[Tabla 3]: Cotizaciones del petróleo, oro, índice Dow Jones y aluminio (euros)

| i | Fecha | Petróleo | Oro | Dow Jones | Aluminio |
|----|---------|----------|---------|-----------|----------|
| 1 | 20/2/20 | 53,71 | 1619,15 | 28936 | 1695,12 |
| 2 | 28/2/20 | 43,83 | 1566,53 | 25771 | 1659,14 |
| 3 | 3/3/20 | 48,83 | 1645,46 | 25701 | 1704,11 |
| 4 | 6/3/20 | 41,14 | 1690,56 | 25179 | 1660,94 |
| 5 | 9/3/20 | 27,72 | 1701,84 | 23649 | 1632,16 |
| 6 | 11/3/20 | 36,51 | 1630,43 | 23370 | 1653,74 |
| 7 | 18/3/20 | 20,53 | 1472,57 | 18883 | 1544,01 |
| 8 | 27/3/20 | 20,77 | 1606 | 21457 | 1511,63 |
| 9 | 9/4/20 | 31,38 | 1686,81 | 23962 | 1452,27 |
| 10 | 21/4/20 | 7,23 | 2656,74 | 22918 | 1454,07 |
| 11 | 24/4/20 | 18,7 | 1709,36 | 23823 | 1486,45 |
| 12 | 28/4/20 | 12,48 | 1688,68 | 23962 | 1477,45 |
| 13 | 6/5/20 | 27,36 | 1679,29 | 23544 | 1439,67 |
| 14 | 28/5/20 | 31,14 | 1724,39 | 25318 | 1520,62 |
| 15 | 8/6/20 | 40,78 | 1699,96 | 27301 | 1581,79 |
| 16 | 15/6/20 | 34,56 | 1703,72 | 25875 | 1556,6 |
| 17 | 23/6/20 | 41,63 | 1769,49 | 26397 | 1563,8 |
| 18 | 29/6/20 | 37,48 | 1777,01 | 25666 | 1581,79 |

Fuente: eToro

Edición: propia en Excel

[Tabla 4]: Coeficiente de correlación de Pearson (ρ)

| | Petróleo | Oro | Dow Jones | Aluminio |
|-----------|-------------|-------------|------------|----------|
| Petróleo | 1 | | | |
| Oro | -0,45032365 | 1 | | |
| Dow Jones | 0,73151585 | -0,02329948 | 1 | |
| Aluminio | 0,78651338 | -0,36174163 | 0,46148815 | 1 |

Fuente: eToro

Edición: propia en Excel

Podemos observar los coeficientes de correlación¹³ en la anterior tabla, y se puede concluir que el Dow Jones y el Aluminio han estado directamente correlacionados con el Petróleo y con una relación de fuerza, pues sus coeficientes de correlación ($\rho \approx 0,7$) se acercan a la unidad. Sin embargo, el Oro se relaciona inversa o indirectamente con el recurso energético ($\rho = -0,45$). Además, con el Oro también presentan una relación inversa o indirecta el Dow Jones y el Aluminio, más con el primero ($\rho = -0,02$) que con el segundo ($\rho = -0,36$), mientras que el Dow Jones y el Aluminio se relacionan directamente entre ellos con un coeficiente de Pearson de 0,46, ni muy cerca ni muy alejado de 1, por lo tanto, con una fuerza media.

Por lo tanto, podemos concluir que el Oro ha evolucionado en dirección opuesta al resto de activos e índices, subiendo cuando el resto bajaban y viceversa. Esto tiene una explicación lógica y es que los inversores se refugian en este activo seguro durante periodos de incertidumbre, ya sea económica, política, geopolítica o de cualquier otro tipo. Por lo tanto, es normal que cuando los mercados caigan, el oro suba, es decir, que aumente su valor.

Antes de terminar con esta sección, realizaremos un análisis similar al anterior, pero en vez de una recta de regresión, haremos uso de una parábola de regresión, la cual sigue mejor la forma creada por los puntos de tiempo-precio. Utilizaremos los mismos 18 puntos, incluyendo nuevas variables necesarias para el cálculo de la parábola como

¹³ En el caso de una relación positiva o directa, quiere decir que el activo o índice ha evolucionado en la misma dirección que nuestro activo de referencia (el petróleo), mientras que, en el caso de una relación inversa o indirecta, quiere decir que el activo o índice ha evolucionado en dirección contraria u opuesta al activo de referencia. Lo hará con más o menos fuerza dependiendo si el coeficiente de correlación (ρ) se acerca o aleja de la unidad, es decir, del número 1.

nuestra variable independiente (x) pero elevada al cubo y a la cuarta, o el producto de los precios por los tiempos ($x_i y_i$), pero elevado al cuadrado [ver tabla 5].

[Tabla 5]: Variables de tiempo y precio (febrero, 2020 a junio, 2020) y sus sumas

| tiempo (x) | precio (y) | x ² | x ³ | x ⁴ | xy | x ² y | |
|------------|------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------------|------------|
| 0 | 53,71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | 43,83 | 64 | 512 | 4096 | 350,64 | 2805,12 | |
| 12 | 48,83 | 144 | 1728 | 20736 | 585,96 | 7031,52 | |
| 15 | 41,14 | 225 | 3375 | 50625 | 617,1 | 9256,5 | |
| 18 | 27,72 | 324 | 5832 | 104976 | 498,96 | 8981,28 | |
| 20 | 36,51 | 400 | 8000 | 160000 | 730,2 | 14604 | |
| 27 | 20,53 | 729 | 19683 | 531441 | 554,31 | 14966,37 | |
| 36 | 20,77 | 1296 | 46656 | 1679616 | 747,72 | 26917,92 | |
| 49 | 31,38 | 2401 | 117649 | 5764801 | 1537,62 | 75343,38 | |
| 61 | 7,23 | 3721 | 226981 | 13845841 | 441,03 | 26902,83 | |
| 64 | 18,7 | 4096 | 262144 | 16777216 | 1196,8 | 76595,2 | |
| 68 | 12,48 | 4624 | 314432 | 21381376 | 848,64 | 57707,52 | |
| 76 | 27,36 | 5776 | 438976 | 33362176 | 2079,36 | 158031,36 | |
| 98 | 31,14 | 9604 | 941192 | 92236816 | 3051,72 | 299068,56 | |
| 109 | 40,78 | 11881 | 1295029 | 141158161 | 4445,02 | 484507,18 | |
| 116 | 34,56 | 13456 | 1560896 | 181063936 | 4008,96 | 465039,36 | |
| 124 | 41,63 | 15376 | 1906624 | 236421376 | 5162,12 | 640102,88 | |
| 130 | 37,48 | 16900 | 2197000 | 285610000 | 4872,4 | 633412 | |
| Sumas | 1031 | 575,78 | 91017 | 9346709 | 1030173189 | 31728,56 | 3001272,98 |

Fuente: eToro

Edición: propia en Excel

Y, a continuación, llevamos a cabo los cálculos operando a través de matrices, obteniendo nuestra matriz final y nuestra parábola, que representamos gráficamente a continuación [ver gráfico 12]:

$$M = \begin{pmatrix} 18 & 1031 & 91017 \\ 1031 & 91017 & 9346709 \\ 91017 & 9346709 & 1030173189 \end{pmatrix}$$

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} 0,314193457 & -0,01037443 & 6,63673E - 05 \\ -0,01037443 & 0,000503462 & -3,65129E - 06 \\ 6,63673E - 05 & -3,6513E - 06 & 2,82351E - 08 \end{pmatrix}$$

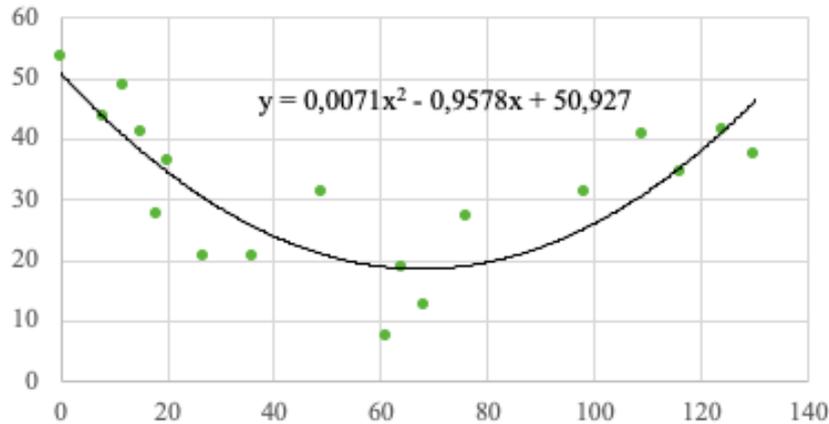
$$Y = \begin{pmatrix} 575,78 \\ 31728,56 \\ 3001272,98 \end{pmatrix}$$

$$M^{-1} * Y = \begin{pmatrix} 50,92704314 \\ -095778749 \\ 0,007103861 \end{pmatrix}$$

Quedando nuestra parábola de la siguiente manera:

$$y = 0,0071x^2 - 0,9578x + 50,927$$

[Gráfico 12]: Parábola de regresión ($y = 0,0071x^2 - 0,9578x + 50,927$)



4.2. Modelo estocástico: Movimiento Browniano

En este apartado, vamos a explorar otra técnica para completar o enriquecer los análisis de precios. Nuestro objetivo será modelizar o determinar un patrón de comportamiento de las fluctuaciones del mercado de petróleo haciendo uso del Movimiento Browniano, un método o procedimiento que sigue una caminata aleatoria para pronosticar el comportamiento de los precios en el mercado, en nuestro de caso, del petróleo.

Básicamente, el Movimiento Browniano, investigado y desarrollado por el botánico inglés Robert Brown, pero también por grandes personajes de la física y la matemática como Albert Einstein, logra expresar la distribución de la posición de una “partícula” en cualquier instante, además de para describir como se desplaza a lo largo de su evolución (Vélez, s.f., p. 5).

Es decir que, en un instante cualquiera (s), se observa una posición (X_s), y la evolución posterior al instante s se produce exactamente con las mismas reglas que al principio y con independencia de lo que haya ocurrido antes de ese instante s (Vélez, s.f., p. 5). De esta forma, se considera un proceso estocástico.

Muchas funciones como la función exponencial vienen dadas como soluciones de ecuaciones diferenciales $x'(t) = x(t)$. Los movimientos brownianos son soluciones de ecuaciones diferenciales estocástica de la siguiente forma:

$$dX_t = \mu * dt + \sigma * dW_t$$

En ellas, μ es la media del movimiento y σ la desviación típica, que en nuestro caso mide el riesgo, en otras palabras, lo grande o pequeño que son las oscilaciones de nuestro zigzag. Por último dW_t es una cantidad diferencial aleatoria que modela las oscilaciones aleatorias del precio.

A continuación, vamos a aplicar el modelo estocástico del Movimiento Browniano a nuestro activo, el petróleo, y a sus precios, para establecer un modelo de comportamiento de sus fluctuaciones de precio [ver gráfico 12]. Lo haremos a través de datos aleatorios, así como por los datos proporcionados por nuestra recta de regresión hallada en el anterior apartado [ver tabla 6].

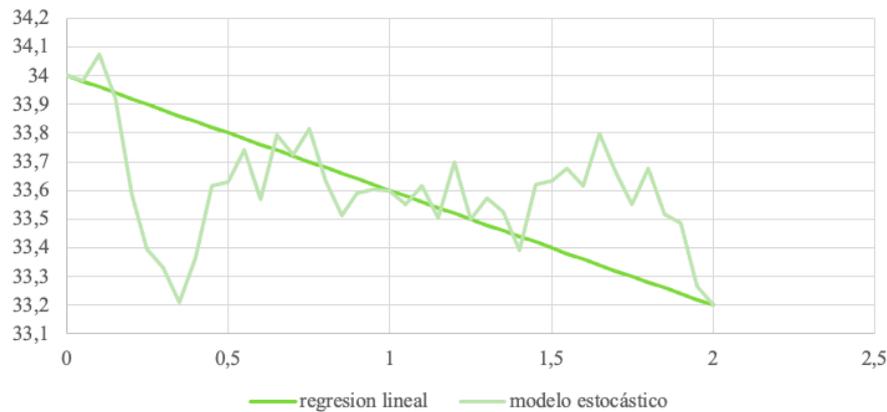
[Tabla 6]: Datos aleatorios y datos obtenidos de la recta de regresión ($y = 34,23x - 0,04$) para la obtención del modelo Browniano

| tiempo | Aleatoria | W t | Movimiento Browniano | Brownian Bridge | regresion lineal | modelo estocástico |
|--------|-------------|--------------|----------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| 0 | 0,486419175 | -0,003806756 | 0 | 0 | 34 | 34 |
| 0,05 | 0,829069584 | 0,106268563 | -0,003806756 | 0,003244887 | 33,98 | 33,983244889 |
| 0,1 | 0,094687334 | -0,146734275 | 0,102461808 | 0,116565092 | 33,96 | 34,07656509 |
| 0,15 | 0,002200143 | -0,318409658 | -0,044272467 | -0,023117541 | 33,94 | 33,91688246 |
| 0,2 | 0,056091189 | -0,177595218 | -0,362682126 | -0,334475557 | 33,92 | 33,58552444 |
| 0,25 | 0,317782447 | -0,052984622 | -0,540277343 | -0,505019132 | 33,9 | 33,39498087 |
| 0,3 | 0,167290331 | -0,107882278 | -0,593261966 | -0,550952113 | 33,88 | 33,32904789 |
| 0,35 | 0,934198865 | 0,168578672 | -0,701144244 | -0,651782748 | 33,86 | 33,20821725 |
| 0,4 | 0,990803124 | 0,263587125 | -0,532565571 | -0,476152434 | 33,84 | 33,36384757 |
| 0,45 | 0,598832854 | 0,027987436 | -0,268978446 | -0,205513667 | 33,82 | 33,61448633 |
| 0,5 | 0,871864923 | 0,126924924 | -0,24099101 | -0,170474588 | 33,8 | 33,62952541 |
| 0,55 | 0,074404997 | -0,161415886 | -0,114066086 | -0,036498022 | 33,78 | 33,74350198 |
| 0,6 | 0,982268034 | 0,235124898 | -0,275481973 | -0,190862266 | 33,76 | 33,56913773 |
| 0,65 | 0,319802832 | -0,052351966 | -0,040357075 | 0,051314274 | 33,74 | 33,79131427 |
| 0,7 | 0,822741504 | 0,103514671 | -0,092709041 | 0,00601395 | 33,72 | 33,72601395 |
| 0,75 | 0,064532961 | -0,169694712 | 0,01080563 | 0,116580263 | 33,7 | 33,81658026 |
| 0,8 | 0,169183339 | -0,107040291 | -0,158889082 | -0,046062807 | 33,68 | 33,63393719 |
| 0,85 | 0,791300077 | 0,090665903 | -0,265929373 | -0,146051456 | 33,66 | 33,51394854 |
| 0,9 | 0,585883094 | 0,024257684 | -0,17526347 | -0,04833391 | 33,64 | 33,59166609 |
| 0,95 | 0,535538798 | 0,009972942 | -0,151005786 | -0,017024584 | 33,62 | 33,60297542 |
| 1 | 0,873003086 | 0,127534394 | -0,141032844 | 0 | 33,6 | 33,6 |
| 1,05 | 0,813134676 | 0,099449909 | -0,013498449 | -0,028228434 | 33,58 | 33,55177157 |
| 1,1 | 0,238316843 | -0,079573526 | 0,08595146 | 0,056491491 | 33,56 | 33,61649149 |
| 1,15 | 0,979622182 | 0,22875059 | 0,006377933 | -0,03781202 | 33,54 | 33,50218798 |
| 1,2 | 0,07469444 | -0,161186225 | 0,235128524 | 0,176208586 | 33,52 | 33,69620859 |
| 1,25 | 0,830080693 | 0,106714576 | 0,073942299 | 0,000292376 | 33,5 | 33,50029238 |
| 1,3 | 0,454079406 | -0,012897777 | 0,180656874 | 0,092276967 | 33,48 | 33,57227697 |
| 1,35 | 0,187015385 | -0,099387461 | 0,167759097 | 0,064649206 | 33,46 | 33,52464921 |
| 1,4 | 0,990971166 | 0,264351705 | 0,068371636 | -0,04946824 | 33,44 | 33,39053176 |
| 1,45 | 0,668906798 | 0,048846515 | 0,332723341 | 0,200153481 | 33,42 | 33,62015348 |
| 1,5 | 0,756702275 | 0,077785422 | 0,381569856 | 0,234270011 | 33,4 | 33,63427001 |
| 1,55 | 0,406965739 | -0,026313738 | 0,459355278 | 0,297325449 | 33,38 | 33,67732545 |
| 1,6 | 0,973203999 | 0,215793949 | 0,433041539 | 0,256281726 | 33,36 | 33,61628173 |
| 1,65 | 0,188275484 | -0,09886429 | 0,648835488 | 0,45734569 | 33,34 | 33,79734569 |
| 1,7 | 0,241117547 | -0,078565617 | 0,549971198 | 0,343751415 | 33,32 | 33,66375142 |
| 1,75 | 0,925049226 | 0,160983401 | 0,47140558 | 0,250455813 | 33,3 | 33,55045581 |
| 1,8 | 0,131838027 | -0,124967654 | 0,632388981 | 0,39670923 | 33,28 | 33,67670923 |
| 1,85 | 0,522453884 | 0,006296017 | 0,507421327 | 0,257011591 | 33,26 | 33,51701159 |
| 1,9 | 0,046046065 | -0,188328743 | 0,513717344 | 0,248577624 | 33,24 | 33,48857762 |
| 1,95 | 0,391510464 | -0,030788912 | 0,325388601 | 0,045518896 | 33,22 | 33,2655189 |
| 2 | 0,779123876 | 0,086003383 | 0,294599689 | 0 | 33,2 | 33,2 |

Fuente: eToro

Edición: propia en Excel

[Gráfico 12]: Modelo Estocástico de los precios del petróleo junto a ($y = 34,23x - 0,04$)



Fuente: eToro

Edición: propia en Excel

4.3. Estudio Estadístico

En primer lugar, podemos hacer un análisis estadístico descriptivo con los datos empleados, que vendría dado en la siguiente tabla de medidas [ver tabla 3].

[Tabla 3]: Medidas estadísticas de tiempo y precio (febrero, 2020 a junio, 2020)

| | |
|---------------------------|--------|
| Media | 31,99 |
| Error típico | 2,96 |
| Mediana | 32,97 |
| Desviación estándar | 12,54 |
| Varianza de la muestra | 157,35 |
| Curtosis | -0,46 |
| Coefficiente de asimetría | -0,29 |
| Rango | 46,48 |
| Mínimo | 7,23 |
| Máximo | 53,71 |
| Suma | 575,78 |
| Cuenta | 18,00 |
| Mayor (1) | 53,71 |
| Menor(1) | 7,23 |
| Nivel de confianza(95,0%) | 6,24 |

Fuente: eToro

Edición: propia en Excel

En esta tabla podemos observar que el precio medio ha sido de 31,99 Euros y la desviación típica de 12,54, lo que nos permite inferir la gran volatilidad de este activo.

También podemos observar que el rango de valores (46,48) es mayor que la media (31,99).

A continuación, como estamos analizando el precio durante una crisis, en nuestro caso la de la COVID-19, sería interesante usar una distribución Binomial (Bi) junto a un intervalo de confianza para ver como la crisis del periodo analizado afecta negativamente a las cotizaciones del petróleo. Lo haremos a través del binomio 0/1 donde el 0 se corresponde con cotizaciones que han sido descendentes en el día, y donde el 1 se corresponde con cotizaciones que han sido, en cambio, ascendentes. Tiene la siguiente forma:

$$X \sim \text{Bi} (N, \hat{p})$$

$$X \sim N (Np, Np (1 - p) / N)$$

$$\hat{p} = X / N \sim N (p, p (1 - p) / N)$$

$$(\hat{p} - 1,96\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})}/N ; \hat{p} + 1,96\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})}/N) = \hat{p}$$

Operando, a través de los datos que se encuentran representados en una tabla que podemos encontrar en el anexo debido a su extensión [ver anexo 1], obtendríamos las siguientes cifras:

$$\begin{aligned} & (0,55357143 - 1,96\sqrt{0,55357143(1 - 0,55357143)}/281 ; + \\ & 1,96\sqrt{0,55357143(1 - 0,55357143)}/281) = \\ & = (0,49534236 ; 0,6118005) \end{aligned}$$

En cambio, si analizamos las velas únicamente del 2 de marzo al 20 de marzo, la media que obtendríamos es una distinta, exactamente de 0,25, cayendo fuera del intervalo de confianza (0,49534236 ; 0,6118005). Por lo tanto, podemos afirmar que, efectivamente, hubo una crisis que afectó al precio del petróleo en el mercado.

[7. Conclusiones]

Tras haber analizado mediante un triple análisis: económico, técnico y matemático la evolución y los efectos del coronavirus (COVID-19) en los precios del petróleo durante la primera mitad del 2020 podemos establecer que, sin duda, la pandemia ha afectado de manera muy notable en los precios del petróleo durante el periodo analizado. En otras palabras, si no hubiera habido pandemia, serían inconcebibles las rupturas bajistas del canal, la fuerte variabilidad en la cotización y la gran cantidad de velas negativas consecutivas durante la pandemia.

Desde la perspectiva económica o fundamentalista, podemos concluir como los efectos que ha sufrido el mercado del *commodity* a causa de la COVID-19 han sido por una crisis que, aunque desencadenada por el factor sanitario, ha venido en mayor medida por parte de dos factores clave en cuanto al comportamiento del mercado de petróleo: la oferta y la demanda.

Además, este tipo de análisis menos técnico nos ha permitido observar la gran interconexión que existe entre la economía mundial y el mercado de crudo, sobre todo en casos tan extremos como este, y cómo es también un instrumento valioso para hacer predicciones acerca de la evolución de sus precios, por ejemplo, a través de noticias. Por lo tanto, el contexto económico y sus tendencias son fundamentales para poder analizar el mercado de petróleo de una manera completa y comprender el estado y la dirección de sus cotizaciones, sobre todo en situaciones tan complejas e impredecibles como la de la pandemia mundial vivida.

Desde la perspectiva técnica, hemos visto como a través de diferentes indicadores y herramientas más o menos complejas, pero igualmente útiles, hemos podido analizar la evolución de las cotizaciones del crudo para establecer de nuevo predicciones acerca de sus movimientos futuros. Las medias móviles, las bandas y canales de Bollinger y Keltner, el Williams %r y el ADX, nos han permitido concluir que, efectiva e inequívocamente, el mercado de petróleo se convirtió en un *bear market* a finales de febrero debido a la COVID-19 y sus efectos, pero que también se recuperó con gran rapidez a principios de junio tras la gran caída de la que hablábamos.

Sin duda, a través de este análisis más bursátil, hemos podido comprobar y medir la gran volatilidad del mercado de petróleo durante el periodo estudiado, desde el inicio

de los efectos de la pandemia en el mercado en febrero de 2020 hasta el mes de junio del mismo año, un periodo temporal durante el cual el *commodity* alcanzó precios negativos por primera vez su historia.

Finalmente, desde la perspectiva matemática, hemos podido establecer de manera numérica y durante el periodo de tiempo analizado, el sentido de la tendencia del mercado de petróleo gracias a la recta de regresión obtenida a través del proceso de regresión lineal, que hemos podido usar para comparar con otros activos e índices a través del coeficiente de correlación de Pearson. Además, también hemos dado un paso más y realizado una parábola de regresión para ajustarnos más a la realidad gráfica dibujada por los puntos de precio-tiempo. Por último, hemos modelizado las fluctuaciones del precio del petróleo a través del Movimiento Browniano para observar un patrón y hemos llevado a cabo un análisis estadístico que consiste en el estudio de la media, una Binomial e intervalos de confianza para poder confirmar que, efectivamente, la crisis del COVID-19 afectó al precio del petróleo.

En consecuencia, este ha sido otro tipo de análisis que nos ha permitido dos cosas: en primer lugar, completar nuestro análisis desde otra perspectiva más y, en segundo lugar, corroborar o comprobar los resultados obtenidos a través de los dos análisis anteriores que también se han llevado a cabo.

En conclusión, y a partir de los tres análisis que se han llevado a cabo desde tres perspectivas diferentes, una económica, una técnica y una matemática, podemos afirmar que la pandemia por la COVID-19 ha sido uno de los eventos que más ha marcado el siglo XXI hasta ahora. La pandemia ha supuesto una crisis que ha afectado y desafiado sobre todo al sector energético, más específicamente a la industria petrolera, debido a la naturaleza de la crisis que puso a la mayoría de los países y territorios del mundo en cuarentena, interrumpiendo su movilidad e irrumpiendo sus procesos productivos y sus cadenas de suministro.

En definitiva, la crisis por coronavirus supondrá numerosos cambios y nuevos retos para la industria petrolera, también además por haber acentuado o acelerado ciertas tendencias ya existentes en el mercado que no eran especialmente favorables o positivas para los futuros precios del recurso. Sin embargo, ya hemos empezado a observar una recuperación del *commodity* a partir de junio del 2020, aunque no se espera que se alcancen los niveles de precios previos a la crisis, pues el COVID-19 ha supuesto un

profundo golpe para el mercado de petróleo, y por lo tanto para sus precios, que podría ser permanente.

Una futura línea de investigación para mejorar este análisis, por lo tanto, sería un estudio de la dirección de sus precios en los años posteriores a la pandemia para analizar la recuperación de los precios del petróleo, así como para poder establecer, aproximadamente, una predicción de la evolución del precio del petróleo de aquí a unos años, para comprobar si realmente sus precios nunca volverán a alcanzar los máximos de estos años previos a la crisis del coronavirus.

6. Bibliografía

- [1] **Coronavirus – Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020).** Retrieved 28 December 2020, from <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019>
- [2] **COVID-19 – International Energy Agency (IEA). (2020).** Recuperado el 26 de octubre de 2020 de <https://www.iea.org/topics/covid-19>
- [3] **El Análisis Bursátil – Escuela de Inversión (s.f.).** Recuperado el 11 de diciembre de 2020, de <http://www.escueladeinversion.cl/2011/11/el-analisis-bursatil/>
- [4] **El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible – Organización de Naciones Unidas (ONU). (s.f.).** Recuperado el 25 de diciembre de 2020 de <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>
- [5] **Law & Regulation – Commodity Futures and Trading Commission (CFTC). (s.f.).** Recuperado el 26 de diciembre de 2020 de <https://www.cftc.gov/LawRegulation/index.htm>
- [6] **López, J. Canal bursátil – Economipedia.** Recuperado el 9 de febrero de 2021 de <https://economipedia.com/definiciones/canal-bursatil.html>
- [7] **López, J. Teoría de Dow – Economipedia.** Recuperado el 9 de febrero de 2021 de <https://economipedia.com/definiciones/teoria-de-dow.html>
- [8] **Murphy, J. (1986).** Technical Analysis of the Financial Markets (1st ed., pp. 19-577). New York: New York Institute of Finance.
- [9] **Newton, I. (1687). Newton's Principia. The mathematical principles of natural philosophy.** New-York, D. Adee.

- [10] **2020 Oil and Gas Industry Outlook – Deloitte (2020)**. Recuperado el 14 de diciembre de 2020 de <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/oil-and-gas-industry-outlook.html>
- [11] **Oil - Fuels & Technologies – International Energy Agency (IEA). (2020)**. Recuperado el 26 de octubre de 2020 de <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/oil>
- [12] **Oil Market Report – International Energy Agency (IEA). (2020)**. Recuperado el 26 de octubre de 2020 de <https://www.iea.org/topics/oil-market-report>
- [13] **Oil Market Update Recipe for uncertainty – Center for Strategic & International Studies (CSIS). (2019)**. Recuperado el 12 de diciembre de 2020 de <https://www.csis.org/analysis/oil-market-update-recipe-uncertainty>
- [14] **¿Qué es un cisne negro? – El Orden Mundial (EOM). (2020)**. Recuperado el 28 de diciembre de 2020 de <https://elordenmundial.com/ques-un-cisne-negro/>
- [15] **Smith, A. (1776) An inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations**. Oxford, England: Bibliomania.com Ltd.
- [16] **The role of market speculation in rising oil and gas prices – United States Government Office (2006)**. Recuperado el 25 de diciembre de 2020 de <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CPRT-109SPRT28640/html/CPRT-109SPRT28640.htm>
- [17] **Vázquez, R. Teoría de las ondas de Elliot – Economipedia**. Recuperado el 9 de febrero de 2021 de from <https://economipedia.com/definiciones/teoria-de-ondas-elliott.html>

[18] **Vélez, R. Introducción al Movimiento Browniano – UNED.** Recuperado el 14 de abril de 2020 de http://portal.uned.es/pls/portal/docs/page/uned_main/launiversidad/ubicacion/es/01/docente/ricardo_velez_ibarrola/cursos%20complementarios/bm.pdf

[19] **What future oil could look like in a post COVID-19 world – Channel News Asia (CNA). (2020).** Recuperado el 27 de diciembre de 2020 de <https://www.channelnewsasia.com/news/business/oil-traders-singapore-future-as-oil-hub-covid19-money-mind-12759482>

[7. Anexos]

[Anexo 1]: Datos tiempo-precio y binomio 0/1 (Fuente: eToro. Edición: propia en Excel)

| días | precio petróleo | diferencia | POS/NEGATIVOS |
|---------|-----------------|------------|---------------|
| 28/2/20 | 44,76 | | |
| 2/3/20 | 46,75 | 1,99 | 1 |
| 3/3/20 | 47,18 | 0,43 | 1 |
| 4/3/20 | 46,78 | -0,4 | 0 |
| 5/3/20 | 45,9 | -0,88 | 0 |
| 6/3/20 | 41,28 | -4,62 | 0 |
| 9/3/20 | 31,13 | -10,15 | 0 |
| 10/3/20 | 34,36 | 3,23 | 1 |
| 11/3/20 | 32,98 | -1,38 | 0 |
| 12/3/20 | 31,5 | -1,48 | 0 |
| 13/3/20 | 31,73 | 0,23 | 1 |
| 16/3/20 | 28,7 | -3,03 | 0 |
| 17/3/20 | 27,026 | -1,674 | 0 |
| 18/3/20 | 20,554 | -6,472 | 0 |
| 19/3/20 | 25,634 | 5,08 | 1 |
| 20/3/20 | 22,59 | -3,044 | 0 |
| 23/3/20 | 23,36 | 0,77 | 1 |
| 24/3/20 | 24,01 | 0,65 | 1 |
| 25/3/20 | 24,49 | 0,48 | 1 |
| 26/3/20 | 22,6 | -1,89 | 0 |
| 27/3/20 | 21,51 | -1,09 | 0 |
| 30/3/20 | 20,09 | -1,42 | 0 |
| 31/3/20 | 20,48 | 0,39 | 1 |
| 1/4/20 | 20,31 | -0,17 | 0 |
| 2/4/20 | 25,32 | 5,01 | 1 |
| 3/4/20 | 28,34 | 3,02 | 1 |
| 6/4/20 | 26,08 | -2,26 | 0 |
| 7/4/20 | 23,63 | -2,45 | 0 |
| 8/4/20 | 25,09 | 1,46 | 1 |
| 9/4/20 | 22,76 | -2,33 | 0 |
| 13/4/20 | 22,41 | -0,35 | 0 |
| 14/4/20 | 20,11 | -2,3 | 0 |
| 15/4/20 | 19,87 | -0,24 | 0 |
| 16/4/20 | 21,002 | 1,132 | 1 |
| 17/4/20 | 20,974 | -0,028 | 0 |
| 21/4/20 | 11,258 | -9,716 | 0 |
| 22/4/20 | 13,78 | 2,522 | 1 |
| 23/4/20 | 16,5 | 2,72 | 1 |
| 24/4/20 | 16,94 | 0,44 | 1 |
| 27/4/20 | 12,78 | -4,16 | 0 |
| 28/4/20 | 12,34 | -0,44 | 0 |
| 29/4/20 | 15,06 | 2,72 | 1 |
| 30/4/20 | 18,84 | 3,78 | 1 |
| 1/5/20 | 19,78 | 0,94 | 1 |
| 4/5/20 | 20,39 | 0,61 | 1 |

| | | | |
|---------|--------|--------|---|
| 5/5/20 | 24,56 | 4,17 | 1 |
| 6/5/20 | 23,99 | -0,57 | 0 |
| 7/5/20 | 23,55 | -0,44 | 0 |
| 8/5/20 | 24,74 | 1,19 | 1 |
| 11/5/20 | 24,14 | -0,6 | 0 |
| 12/5/20 | 25,78 | 1,64 | 1 |
| 13/5/20 | 25,29 | -0,49 | 0 |
| 14/5/20 | 27,624 | 2,334 | 1 |
| 15/5/20 | 29,466 | 1,842 | 1 |
| 18/5/20 | 31,718 | 2,252 | 1 |
| 19/5/20 | 32,068 | 0,35 | 1 |
| 20/5/20 | 33,49 | 1,422 | 1 |
| 21/5/20 | 33,92 | 0,43 | 1 |
| 22/5/20 | 33,25 | -0,67 | 0 |
| 26/5/20 | 34,35 | 1,1 | 1 |
| 27/5/20 | 32,81 | -1,54 | 0 |
| 28/5/20 | 33,71 | 0,9 | 1 |
| 29/5/20 | 35,49 | 1,78 | 1 |
| 1/6/20 | 35,44 | -0,05 | 0 |
| 2/6/20 | 36,81 | 1,37 | 1 |
| 3/6/20 | 37,29 | 0,48 | 1 |
| 4/6/20 | 37,41 | 0,12 | 1 |
| 5/6/20 | 39,55 | 2,14 | 1 |
| 8/6/20 | 38,19 | -1,36 | 0 |
| 9/6/20 | 38,94 | 0,75 | 1 |
| 10/6/20 | 39,6 | 0,66 | 1 |
| 11/6/20 | 36,34 | -3,26 | 0 |
| 12/6/20 | 36,26 | -0,08 | 0 |
| 15/6/20 | 37,12 | 0,86 | 1 |
| 16/6/20 | 38,38 | 1,26 | 1 |
| 17/6/20 | 38,01 | -0,37 | 0 |
| 18/6/20 | 38,924 | 0,914 | 1 |
| 19/6/20 | 39,798 | 0,874 | 1 |
| 22/6/20 | 40,676 | 0,878 | 1 |
| 23/6/20 | 40,37 | -0,306 | 0 |
| 24/6/20 | 38,01 | -2,36 | 0 |
| 25/6/20 | 38,72 | 0,71 | 1 |
| 26/6/20 | 38,49 | -0,23 | 0 |
| 29/6/20 | 39,7 | 1,21 | 1 |
| 30/6/20 | 39,27 | -0,43 | 0 |
| 1/7/20 | 39,82 | 0,55 | 1 |
| 2/7/20 | 40,65 | 0,83 | 1 |
| 6/7/20 | 40,63 | -0,02 | 0 |
| 7/7/20 | 40,62 | -0,01 | 0 |
| 8/7/20 | 40,9 | 0,28 | 1 |
| 9/7/20 | 39,62 | -1,28 | 0 |
| 10/7/20 | 40,55 | 0,93 | 1 |

| | | | |
|---------|--------|--------|---|
| 13/7/20 | 40,1 | -0,45 | 0 |
| 14/7/20 | 40,29 | 0,19 | 1 |
| 15/7/20 | 41,2 | 0,91 | 1 |
| 16/7/20 | 40,786 | -0,414 | 0 |
| 17/7/20 | 40,654 | -0,132 | 0 |
| 20/7/20 | 40,876 | 0,222 | 1 |
| 21/7/20 | 41,928 | 1,052 | 1 |
| 22/7/20 | 41,9 | -0,028 | 0 |
| 23/7/20 | 41,07 | -0,83 | 0 |
| 24/7/20 | 41,29 | 0,22 | 1 |
| 27/7/20 | 41,6 | 0,31 | 1 |
| 28/7/20 | 41,04 | -0,56 | 0 |
| 29/7/20 | 41,27 | 0,23 | 1 |
| 30/7/20 | 39,92 | -1,35 | 0 |
| 31/7/20 | 40,27 | 0,35 | 1 |
| 3/8/20 | 41,01 | 0,74 | 1 |
| 4/8/20 | 41,7 | 0,69 | 1 |
| 5/8/20 | 42,19 | 0,49 | 1 |
| 6/8/20 | 41,95 | -0,24 | 0 |
| 7/8/20 | 41,22 | -0,73 | 0 |
| 10/8/20 | 41,94 | 0,72 | 1 |
| 11/8/20 | 41,61 | -0,33 | 0 |
| 12/8/20 | 42,67 | 1,06 | 1 |
| 13/8/20 | 42,24 | -0,43 | 0 |
| 14/8/20 | 42,01 | -0,23 | 0 |
| 17/8/20 | 42,946 | 0,936 | 1 |
| 18/8/20 | 42,982 | 0,036 | 1 |
| 19/8/20 | 43,038 | 0,056 | 1 |
| 20/8/20 | 42,772 | -0,266 | 0 |
| 21/8/20 | 42,34 | -0,432 | 0 |
| 24/8/20 | 42,62 | 0,28 | 1 |
| 25/8/20 | 43,35 | 0,73 | 1 |
| 26/8/20 | 43,39 | 0,04 | 1 |
| 27/8/20 | 43,04 | -0,35 | 0 |
| 28/8/20 | 42,97 | -0,07 | 0 |
| 31/8/20 | 42,61 | -0,36 | 0 |
| 1/9/20 | 42,76 | 0,15 | 1 |
| 2/9/20 | 41,51 | -1,25 | 0 |
| 3/9/20 | 41,37 | -0,14 | 0 |
| 4/9/20 | 39,77 | -1,6 | 0 |
| 8/9/20 | 36,76 | -3,01 | 0 |
| 9/9/20 | 38,05 | 1,29 | 1 |
| 10/9/20 | 37,3 | -0,75 | 0 |
| 11/9/20 | 37,33 | 0,03 | 1 |
| 14/9/20 | 37,26 | -0,07 | 0 |
| 15/9/20 | 38,28 | 1,02 | 1 |
| 16/9/20 | 40,16 | 1,88 | 1 |

| | | | |
|----------|--------|--------|---|
| 17/9/20 | 41,02 | 0,86 | 1 |
| 18/9/20 | 41,194 | 0,174 | 1 |
| 21/9/20 | 39,448 | -1,746 | 0 |
| 22/9/20 | 39,76 | 0,312 | 1 |
| 23/9/20 | 39,93 | 0,17 | 1 |
| 24/9/20 | 40,31 | 0,38 | 1 |
| 25/9/20 | 40,25 | -0,06 | 0 |
| 28/9/20 | 40,6 | 0,35 | 1 |
| 29/9/20 | 39,29 | -1,31 | 0 |
| 30/9/20 | 40,22 | 0,93 | 1 |
| 1/10/20 | 38,72 | -1,5 | 0 |
| 2/10/20 | 37,05 | -1,67 | 0 |
| 5/10/20 | 39,22 | 2,17 | 1 |
| 6/10/20 | 40,67 | 1,45 | 1 |
| 7/10/20 | 39,95 | -0,72 | 0 |
| 8/10/20 | 41,19 | 1,24 | 1 |
| 9/10/20 | 40,6 | -0,59 | 0 |
| 12/10/20 | 39,43 | -1,17 | 0 |
| 13/10/20 | 40,2 | 0,77 | 1 |
| 14/10/20 | 41,04 | 0,84 | 1 |
| 15/10/20 | 41,016 | -0,024 | 0 |
| 16/10/20 | 40,976 | -0,04 | 0 |
| 19/10/20 | 40,968 | -0,008 | 0 |
| 20/10/20 | 41,652 | 0,684 | 1 |
| 21/10/20 | 40,03 | -1,622 | 0 |
| 22/10/20 | 40,64 | 0,61 | 1 |
| 23/10/20 | 39,85 | -0,79 | 0 |
| 26/10/20 | 38,56 | -1,29 | 0 |
| 27/10/20 | 39,57 | 1,01 | 1 |
| 28/10/20 | 37,39 | -2,18 | 0 |
| 29/10/20 | 36,17 | -1,22 | 0 |
| 30/10/20 | 35,79 | -0,38 | 0 |
| 2/11/20 | 36,81 | 1,02 | 1 |
| 3/11/20 | 37,66 | 0,85 | 1 |
| 4/11/20 | 39,15 | 1,49 | 1 |
| 5/11/20 | 38,79 | -0,36 | 0 |
| 6/11/20 | 37,14 | -1,65 | 0 |
| 9/11/20 | 40,29 | 3,15 | 1 |
| 10/11/20 | 41,36 | 1,07 | 1 |
| 11/11/20 | 41,45 | 0,09 | 1 |
| 12/11/20 | 41,12 | -0,33 | 0 |
| 13/11/20 | 40,13 | -0,99 | 0 |
| 16/11/20 | 41,34 | 1,21 | 1 |
| 17/11/20 | 41,474 | 0,134 | 1 |
| 18/11/20 | 41,896 | 0,422 | 1 |
| 19/11/20 | 41,836 | -0,06 | 0 |
| 20/11/20 | 42,366 | 0,53 | 1 |

| | | | |
|----------|--------|--------|---|
| 23/11/20 | 43,06 | 0,694 | 1 |
| 24/11/20 | 44,91 | 1,85 | 1 |
| 25/11/20 | 45,71 | 0,8 | 1 |
| 27/11/20 | 45,53 | -0,18 | 0 |
| 30/11/20 | 45,34 | -0,19 | 0 |
| 1/12/20 | 44,55 | -0,79 | 0 |
| 2/12/20 | 45,28 | 0,73 | 1 |
| 3/12/20 | 45,64 | 0,36 | 1 |
| 4/12/20 | 46,26 | 0,62 | 1 |
| 7/12/20 | 45,76 | -0,5 | 0 |
| 8/12/20 | 45,6 | -0,16 | 0 |
| 9/12/20 | 45,52 | -0,08 | 0 |
| 10/12/20 | 46,78 | 1,26 | 1 |
| 11/12/20 | 46,57 | -0,21 | 0 |
| 14/12/20 | 46,99 | 0,42 | 1 |
| 15/12/20 | 47,62 | 0,63 | 1 |
| 16/12/20 | 47,856 | 0,236 | 1 |
| 17/12/20 | 48,432 | 0,576 | 1 |
| 18/12/20 | 49,184 | 0,752 | 1 |
| 21/12/20 | 47,924 | -1,26 | 0 |
| 22/12/20 | 47,02 | -0,904 | 0 |
| 23/12/20 | 48,12 | 1,1 | 1 |
| 24/12/20 | 48,23 | 0,11 | 1 |
| 28/12/20 | 47,62 | -0,61 | 0 |
| 29/12/20 | 48 | 0,38 | 1 |
| 30/12/20 | 48,4 | 0,4 | 1 |
| 31/12/20 | 48,52 | 0,12 | 1 |
| 4/1/21 | 47,62 | -0,9 | 0 |
| 5/1/21 | 49,93 | 2,31 | 1 |
| 6/1/21 | 50,63 | 0,7 | 1 |
| 7/1/21 | 50,83 | 0,2 | 1 |
| 8/1/21 | 52,24 | 1,41 | 1 |
| 11/1/21 | 52,25 | 0,01 | 1 |
| 12/1/21 | 53,21 | 0,96 | 1 |
| 13/1/21 | 52,91 | -0,3 | 0 |
| 14/1/21 | 53,58 | 0,67 | 1 |
| 15/1/21 | 52,384 | -1,196 | 0 |
| 19/1/21 | 52,98 | 0,596 | 1 |
| 20/1/21 | 53,296 | 0,316 | 1 |
| 21/1/21 | 53,13 | -0,166 | 0 |
| 22/1/21 | 52,27 | -0,86 | 0 |
| 25/1/21 | 52,77 | 0,5 | 1 |
| 26/1/21 | 52,61 | -0,16 | 0 |
| 27/1/21 | 52,85 | 0,24 | 1 |
| 28/1/21 | 52,34 | -0,51 | 0 |
| 29/1/21 | 52,2 | -0,14 | 0 |
| 1/2/21 | 53,55 | 1,35 | 1 |

| | | | |
|---------|--------|--------|---|
| 2/2/21 | 54,76 | 1,21 | 1 |
| 3/2/21 | 55,69 | 0,93 | 1 |
| 4/2/21 | 56,23 | 0,54 | 1 |
| 5/2/21 | 56,85 | 0,62 | 1 |
| 8/2/21 | 57,97 | 1,12 | 1 |
| 9/2/21 | 58,36 | 0,39 | 1 |
| 10/2/21 | 58,68 | 0,32 | 1 |
| 11/2/21 | 58,24 | -0,44 | 0 |
| 12/2/21 | 59,47 | 1,23 | 1 |
| 16/2/21 | 60,05 | 0,58 | 1 |
| 17/2/21 | 61,144 | 1,094 | 1 |
| 18/2/21 | 60,524 | -0,62 | 0 |
| 19/2/21 | 59,252 | -1,272 | 0 |
| 22/2/21 | 61,658 | 2,406 | 1 |
| 23/2/21 | 61,67 | 0,012 | 1 |
| 24/2/21 | 63,22 | 1,55 | 1 |
| 25/2/21 | 63,53 | 0,31 | 1 |
| 26/2/21 | 61,5 | -2,03 | 0 |
| 1/3/21 | 60,64 | -0,86 | 0 |
| 2/3/21 | 59,75 | -0,89 | 0 |
| 3/3/21 | 61,28 | 1,53 | 1 |
| 4/3/21 | 63,83 | 2,55 | 1 |
| 5/3/21 | 66,09 | 2,26 | 1 |
| 8/3/21 | 65,05 | -1,04 | 0 |
| 9/3/21 | 64,01 | -1,04 | 0 |
| 10/3/21 | 64,44 | 0,43 | 1 |
| 11/3/21 | 66,02 | 1,58 | 1 |
| 12/3/21 | 65,61 | -0,41 | 0 |
| 15/3/21 | 65,39 | -0,22 | 0 |
| 16/3/21 | 64,8 | -0,59 | 0 |
| 17/3/21 | 64,606 | -0,194 | 0 |
| 18/3/21 | 60,024 | -4,582 | 0 |
| 19/3/21 | 61,432 | 1,408 | 1 |
| 22/3/21 | 61,558 | 0,126 | 1 |
| 23/3/21 | 57,76 | -3,798 | 0 |
| 24/3/21 | 61,18 | 3,42 | 1 |
| 25/3/21 | 58,56 | -2,62 | 0 |
| 26/3/21 | 60,97 | 2,41 | 1 |
| 29/3/21 | 61,56 | 0,59 | 1 |
| 30/3/21 | 60,55 | -1,01 | 0 |
| 31/3/21 | 59,16 | -1,39 | 0 |
| 1/4/21 | 61,45 | 2,29 | 1 |
| 5/4/21 | 58,65 | -2,8 | 0 |
| 6/4/21 | 59,33 | 0,68 | 1 |
| 7/4/21 | 59,77 | 0,44 | 1 |
| 8/4/21 | 59,6 | -0,17 | 0 |
| 9/4/21 | 59,32 | -0,28 | 0 |
| 12/4/21 | 59,7 | 0,38 | 1 |