



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

SAUDI ARAMCO:

Estudios cuantitativos de su cotización hasta la guerra de Ucrania.

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Autor: Gonzalo Espeso Marra

Grado: 5ºE6

Tutor: Luis Ángel Calvo Pascual

MADRID | Junio 2022

ÍNDICE

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. CONTEXTO	6
1.2. ANÁLISIS EMPRESARIAL.....	7
1.2.1. SAUDI ARAMCO	7
1.2.2. EL SECTOR PETROLERO	8
1.2.3. EL PETRÓLEO.....	9
1.3. OBJETIVOS	10
1.4. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN	10
1.5. METODOLOGÍA.....	10
1.6. ESTRUCTURA DEL TFG.....	11
1.7. HIPÓTESIS INICIAL	11
2. CAPÍTULO 2: ANÁLISIS TÉCNICO.....	12
2.1. CANALES Y LÍNEAS DE TENDENCIA.....	13
2.1.1. CANALES	14
2.1.2. LÍNEAS DE TENDENCIA.....	18
2.2. MEDIAS MÓVILES	22
2.3. BANDAS DE BOLLINGER	26
2.4. ADX.....	28
3. CAPÍTULO 3: AJUSTE FUNCIONAL.....	31
3.1. OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS EN FUNCIONES MEDIANTE CURVE-FITTING	31
3.1.1. PRIMER PERÍODO.....	32
3.1.2. SEGUNDO PERÍODO.....	33
3.1.3. TERCER PERÍODO	34
3.1.4. CUARTO PERÍODO.....	36
3.2. MACHINE LEARNING.....	37
3.2.1. PRIMER PERÍODO.....	38
3.2.2. SEGUNDO PERÍODO.....	41
3.2.3. TERCER PERÍODO	43
3.2.4. CUARTO PERÍODO.....	44

3.3.	SERIES TEMPORALES.....	46
3.3.1.	SERIES TEMPORALES CON TSAF.....	46
3.3.2.	SERIES TEMPORALES CON PYTHON	49
4.	<i>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DEL PRECIO DEPENDIENDO DE OTROS FACTORES.....</i>	52
4.1.	EL PRECIO DEL PETRÓLEO.....	52
4.1.1.	Reactivación de la demanda y control de la oferta	52
4.1.2.	Presiones inflacionarias	53
4.1.3.	El cambio climático y las energías renovables.....	53
4.1.4.	Tensiones y conflictos geopolíticos	54
4.2.	VARIABLES	54
4.2.1.	Brent Oil.....	54
4.2.2.	Texas West Intermediate Oil Price (WTI).....	55
4.2.3.	Saudi Stock Exchange Tadawul	55
4.2.4.	S&P500	55
4.2.5.	Dow Jones.....	55
4.2.6.	Euro Stoxx 50	56
4.2.7.	Gold	56
4.2.8.	Dólar	56
4.3.	FEATURE SELECTION	57
4.4.	REGRESSION LEARNING	61
5.	<i>CAPÍTULO 5: ROBOT TRADING.....</i>	64
5.1.	ROBOT TRADING CON SAUDI ARAMCO	65
5.2.	ROBOT TRADING CON BRENT OIL.....	65
6.	<i>CONCLUSIONES.....</i>	67
7.	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	15
Figura 2.....	16
Figura 3.....	16
Figura 4.....	17
Figura 5.....	18
Figura 6.....	19
Figura 7.....	20
Figura 8.....	21
Figura 9.....	21
Figura 10.....	22
Figura 11.....	23
Figura 12.....	24
Figura 13.....	25
Figura 14.....	26
Figura 15.....	27
Figura 16.....	28
Figura 17.....	30
Figura 18.....	33
Figura 19.....	34
Figura 20.....	35
Figura 21.....	36
Figura 22.....	37
Figura 23.....	38
Figura 24.....	40
Figura 25.....	40
Figura 26.....	41
Figura 27.....	42
Figura 28.....	42
Figura 29.....	43
Figura 30.....	43
Figura 31.....	44
Figura 32.....	44
Figura 33.....	45

Figura 34.....	45
Figura 35.....	47
Figura 36.....	47
Figura 37.....	48
Figura 39.....	49
Figura 41.....	50
Figura 43.....	50
Figura 44.....	51
Figura 45.....	58
Figura 46.....	58
Figura 47.....	59
Figura 48.....	60
Figura 49.....	60
Figura 50.....	61
Figura 51.....	61
Figura 52.....	62
Figura 53.....	62
Figura 54.....	63
Figura 55.....	63
Figura 58.....	65
Figura 59.....	65
Figura 60.....	66
Figura 61.....	66

RESUMEN

El panorama económico y geopolítico mundial está cambiando más que nunca desde la pandemia del COVID-19; dichos cambios son más profundos en un activo como el petróleo, fundamental para la industria y con un fuerte carácter volátil y especulativo. La recuperación tras la pandemia vino acompañada por una reactivación en la demanda del petróleo, pero la producción del mismo se redujo desde la OPEP, provocando una subida de precios que se acentuó con el conflicto ucraniano y el embargo al petróleo ruso. Estas circunstancias otorgan a la compañía Saudi Aramco una importancia fundamental a nivel mundial. En este trabajo se realiza un análisis del precio de las acciones de esta empresa desde su salida a bolsa mediante diversas técnicas cuantitativas: análisis técnico, series temporales, ajuste de datos a funciones, *feature selection*, *machine learning* y robots.

ABSTRACT

The global economic and geopolitical landscape is changing more than ever since the COVID-19 pandemic; these changes are felt even more in an asset such as oil, which is fundamental for the industry, highly volatile and speculative. A reactivation in demand for oil accompanied the recovery after the pandemic. Still, its production was reduced by OPEC, causing a rise in prices that was accentuated by the Ukrainian conflict and the embargo on Russian oil. These circumstances give the Saudi Aramco company fundamental importance worldwide. This work analyzes the price of the shares of this company since its IPO using various quantitative techniques: technical analysis, temporal series, curve fitting, feature selection, machine learning, and robots.

PALABRAS CLAVE

Saudi Aramco, petróleo, Covid-19, Ucrania, análisis técnico, ajuste de funciones, Matlab, variables, regresión Gaussiana, serie temporal, predicción.

KEY WORDS

Saudi Aramco, oil, Covid-19, Ukraine, technical analysis, curve fitting, Matlab, variables, Gaussian regression, time series, forecasting.

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO

Tras el surgimiento de la enfermedad del Covid-19 a finales del año 2019, se producirá uno de los hundimientos más fuertes a nivel económico en los mercados globales durante el año 2020, que supuso una **contracción del PIB mundial del 3,3% en 2020** (Banco de España, 2021). El precio del petróleo cayó un 38,89% en el mes de Marzo de 2020 (Periódico Expansión, 2020). La rápida propagación del virus pronto convirtió esta enfermedad en una pandemia global, y ante el descontrol por el aumento de casos, hospitalizados y fallecidos, en el mes de Marzo de 2020 comienza una oleada de confinamientos, restricciones de libertades y desplazamientos, que provocará un cierre económico y parada industrial, causantes del hundimiento económico que encontró su apogeo a mediados de ese mismo mes de Marzo. Desde entonces, y con varias y severas ralentizaciones, la economía inicia un proceso de recuperación que se ha visto favorecido por el lanzamiento de la vacuna al mercado, y la rápida y efectiva administración de dosis a la población mundial; esto ha permitido el cese de los confinamientos y la reanudación de una vida “normal”, con la consecuente recuperación en el nivel de desplazamientos y la reactivación económica. **En 2021, el PIB de la economía española creció un 5,9%**. (Banco de España, 2022).

Esta reactivación económica trae consigo, como causa y consecuencia, una reactivación de la demanda; las industrias se recuperan del severo contratiempo que la pandemia les ha supuesto, mientras se recuperan los niveles previos de deuda y empleo. Pero la reactivación de la demanda no siempre viene de la mano junto con un aumento de la oferta; esto está ocurriendo, por ejemplo, en el sector petrolífero, clave para el funcionamiento de la economía mundial, y actor principal del mercado energético. **Saudi Aramco, la empresa más grande de Arabia Saudí**, es un agente clave dentro de este sector; se estima que en torno al 12% de la extracción, refinamiento y venta de crudo es llevada por esta empresa (Ramady, 2017), que protagonizó la salida a bolsa más grande de la historia en Diciembre de 2019, justo antes de la pandemia de Covid-19. **Saudi Aramco es clave en el abastecimiento mundial de petróleo**, imprescindible para el correcto funcionamiento industrial, económico y para la red de transporte global; este papel la convierte en una de las compañías más influyentes a nivel mundial, con grandes

posibilidades de impacto en la oferta y la demanda, y por tanto el precio del petróleo, debido al relevante papel de Arabia Saudí en la OPEP. Cabe destacar que Saudi Aramco es una empresa estatal, controlada al 98% por la realeza saudí. (Amy Myers Jaffe, 2007)

Por su papel relevante en el contexto global fuera poco, desde el inicio del conflicto en Ucrania en Febrero de 2022, la importancia de la compañía ha crecido debido al incremento en el precio del petróleo, puesto que **a lo largo de 2022, los precios de los referentes petroleros han subido más de un 58%** (López, 2022). Por otro lado, los embargos petroleros de la comunidad internacional a Rusia; las sanciones internacionales están teniendo un fuerte impacto en el sector energético ruso, atacando su principal fuente de ingresos, que es el petróleo. Son muchos los países que han reducido o anulado sus importaciones petrolíferas del gigante ruso, sobre todo en el ámbito de la UE. Esto tiene una consecuencia directa, y es que, al ser Rusia el segundo productor de petróleo en el año 2021, solo por detrás de Estados Unidos, y Arabia Saudí el tercero (Statista Research Department, 2022), ante la ausencia rusa Arabia Saudí cubrirá gran parte de la demanda de petróleo en aquellos países donde la presencia rusa ha dejado un vacío. Esto influye directamente sobre Saudi Aramco, que es la empresa petrolífera estatal de Arabia Saudí.

Todo está sucediendo en un contexto económico global en el que se atisban malas perspectivas. Las inyecciones de liquidez que acompañaron a las políticas monetarias y económicas expansivas de los gobiernos tras la pandemia, para ayudar a solventar la crisis económica y recesión que se produjo a continuación, están empezando a expresar sus consecuencias en la economía actual, en forma de **incrementos en el nivel de inflación, una subida de los tipos de interés y un exceso de deuda pública y exterior**. (UE, 2022)

1.2. ANÁLISIS EMPRESARIAL

1.2.1. SAUDI ARAMCO

Saudi Aramco es una empresa saudí dedicada mayoritariamente a la producción y venta de petróleo, aunque también de gas y productos petroquímicos. Emplea a más de 76.000 personas (Saudi Aramco, s.f.) y está considerada como la **empresa más grande del mundo a nivel de capitalización bursátil**, superando al gigante estadounidense Apple. Es el principal productor de petróleo del mundo, produciendo más del 10% de la demanda

mundial, significando llegando hasta el 19,9% de las exportaciones globales en el año 2016 (Michael Bradshaw, 2019) y manejando el 97% de las reservas de crudo saudíes, que conforman un **15% de las reservas de crudo mundiales**; tiene una gran capacidad para responder de forma inmediata a la demanda del mercado. Se trata de una empresa estatal, propiedad actualmente al 98% del gobierno saudí, quien sacó a bolsa en 2019 en torno al 1,5%-2% restante de su capital. Su salida a bolsa es consecuencia de un intento de las autoridades saudíes de reequilibrar unas cuentas en déficit desde hace años, y tratar de diversificar la economía del país (Kobayashi, 2007).

Cabe destacar que Saudi Aramco es la **principal fuente de ingresos del reino de Arabia Saudí**, suponiendo en torno al 60% de los presupuestos estatales en el año 2021 (Alabdulwahab, 2021). Para el reino, la empresa es especialmente relevante, no solamente por este hecho sino porque a través de sus potenciales ingresos futuros se busca la total diversificación económica de la nación, muy dependiente del mercado petrolífero, a través de la inversión en sectores alternativos, como las energías renovables, el sector servicios y el sector tecnológico.

1.2.2. EL SECTOR PETROLERO

La producción y por lo tanto oferta del sector petrolero se ha recortado históricamente desde el inicio de la pandemia, gracias a los acuerdos conseguidos entre los principales países productores y a la acción de la OPEP. Esto se produjo en un intento por subir el precio del petróleo tras el hundimiento económico provocado por la pandemia; los confinamientos, las restricciones de desplazamiento que llevaron a la paralización total de los vuelos y los transportes produjeron una contracción total de la demanda, por lo que era fundamental contraer la oferta para tratar de minimizar la caída de precios. Esta reducción de la producción no fue fácil de consensuar, ya que por ejemplo Arabia Saudí y Rusia no se pusieron de acuerdo en estos recortes productivos. Arabia Saudí ofreció descuentos de entre 6 y 8 dólares por barril a clientes estadounidenses (Richie Runchuan Ma, 2021), iniciando una **guerra de precios** que actuó como catalizador del precio, ya que la abrupta reducción de la demanda no encontró una reducción del exceso de oferta hasta mediados de Abril de 2020, causando el hundimiento de la cotización del barril de petróleo.

En 2021, con la recuperación económica posterior a la pandemia, la reactivación de la demanda es latente, aunque para la OPEP sigue siendo débil, por lo que no se produce un aumento de la oferta en proporción con la reactivación de la demanda; Rusia, sin embargo, reclama un aumento de la oferta, por lo que los precios van fluctuando, subiendo ante la escasez de oferta pero reduciéndose la cotización en situaciones de incertidumbre generadas por la posibilidad de enfrentamientos en los acuerdos entre las principales potencias productoras y exportadoras. A todo esto, se deben añadir las **fuertes tensiones que sacuden el sector petrolero**, por diferentes factores, entre los cuales destaca la transformación energética mundial que viene sucediendo desde hace varios años, volcada en las energías renovables. (Palazuelos, 2009)

A finales de 2021 y principios de 2022, las tensiones tanto en Oriente Medio como sobre todo en Ucrania sobre posibles conflictos armados, disparan el precio del petróleo ante el riesgo asociado al estar involucradas dos potencias de la OPEP en cada uno de los conflictos regionales, Arabia Saudí y Rusia. Finalmente, en Febrero de 2022, con el inicio de la invasión ucraniana, el precio del petróleo se dispara a máximos nunca vistos desde 7 años atrás; esto es provocado por la inseguridad energética causada por estar involucrada y ser causante Rusia del conflicto. Las sanciones internacionales económicas y de embargos energéticos a **Rusia, que es el segundo exportador mundial y uno de los principales suministradores de gas (40%) a Europa**, han provocado una reducción de la oferta todavía mayor, provocando que los precios se disparen.

1.2.3. EL PETRÓLEO

El petróleo es un activo extremadamente volátil (Rossi, 2013), dependiente en exceso de factores geopolíticos, y útil contra la inflación; incluso estando en épocas de recesión económica siempre habrá un umbral mínimo de demanda energética, satisfecha en gran parte por el petróleo. **Su demanda es totalmente inelástica** (Brufao, 2008) en tanto no aparezca un producto completamente sustitutivo, es decir, aunque el precio suba la demanda no caerá ya que es un producto necesario para el funcionamiento industrial y de transportes. Esto hace que sus subidas en el precio se extiendan al resto de bienes, pues encarece los gastos de producción y transporte: marca el crecimiento de los precios.

Al hablar de petróleo cotizado, este se refiere al crudo, que es la forma previa al petróleo refinado. El petróleo se negocia en barriles de crudo (Iglesias, 2003), de 159 litros cada uno, en principalmente dos tipos de crudo: el WTI (West Texas Intermediate) y el crudo de Brent, siendo el precio de estos dos el indicador de referencia del precio del petróleo. Es un activo en torno al cual la especulación tiene un papel muy importante.

1.3.OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es **estudiar el comportamiento del precio de las acciones de la empresa Saudi Aramco, a lo largo del periodo comprendido entre su salida a bolsa en Diciembre de 2019, y el comienzo del mes de Mayo de este año.** Se usarán diversos métodos cuantitativos como el análisis técnico, *curve fitting*, *machine learning*, *feature selection*, programación de robots, etc. para comprender cómo han afectado sobre las acciones de esta empresa distintos fenómenos como la pandemia de COVID-19, la posterior recuperación económica, y el reciente conflicto en Ucrania, que se desarrolla en paralelo a una situación de inflación e incremento en los precios de los combustibles.

1.4. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

Tras haber realizado una profunda revisión bibliográfica previa, se concluye que pese a existir literatura acerca de la empresa Aramco y sus estrategias corporativas (Jaffe, 2007), no se han encontrado como tal investigaciones científicas específicas acerca del recorrido del precio de las acciones de Saudi Aramco; sí hay análisis sobre el precio de acciones de otras compañías, pero no sobre Saudi Aramco (González, 2018). Debido al gran interés por Saudi Aramco, que actualmente **es una de las empresas más influyentes sino la que más a nivel global**, tanto en la determinación y dinamismo de la actividad económica como de multitud de sucesos geopolíticos, se ha decidido proceder al análisis de sus cotizaciones, en el contexto de la gran tendencia alcista que está experimentando últimamente.

1.5. METODOLOGÍA

Como fuentes de conocimiento, formación y aprendizaje, se utilizarán: reuniones con el tutor, visualización y realización de prácticas y vídeos, y lectura de bibliografía (Murphy,

2000). El software empleado se dividirá por capítulos: para el análisis técnico, se emplearán aplicaciones como EToro, Investing, Yahoo Finance; para el ajuste de datos a funciones, así como el análisis estadístico, se utilizará el programa Matlab, y dentro de él, los paquetes de *Curve-Fitting*, *Machine Learning* y *Regression Learning*; por último, para el robot, se utilizará el programa *Spyder*, que usa programación en *Phyton*.

1.6. ESTRUCTURA DEL TFG

El análisis del precio parte de cuatro aproximaciones distintas, presentes en cada uno de los capítulos. Se comienza por un **análisis descriptivo** mediante canales y otros indicadores técnicos, de cara a la medición de las tendencias, para luego pasar a un **análisis funcional** más formal, tan sólo dependiente del tiempo; después, el estudio se generaliza a varias **variables**, utilizando técnicas de *machine learning*.

En el primer capítulo se procederá a realizar un análisis técnico del precio, centrado en los canales, tendencias, medias móviles, bandas de Bollinger y por último el indicador ADX; a continuación, en el segundo capítulo se realiza un ajuste de datos a funciones para entender los movimientos del precio mediante curve-fitting y Machine Learning; en tercer lugar, se procede a un análisis estadístico del precio a partir de otras variables, buscando relaciones con ellas, utilizando correlaciones e intervalos de confianza; y por último, en el capítulo final se procederá a la configuración de un **robot** que opere automáticamente la inversión en acciones de Saudi Aramco, buscando la máxima rentabilidad.

1.7. HIPÓTESIS INICIAL

La hipótesis inicial es que el conflicto en Ucrania y un amplio trasfondo de sucesos geopolíticos y económicos que vienen preparándose desde el inicio de la pandemia del Covid, como la inflación, el incremento del precio de los combustibles o el aumento de la deuda pública, ha **alterado profundamente el precio de cotización de Saudi Aramco al alza** y también presenta una mayor volatilidad.

2. CAPÍTULO 2: ANÁLISIS TÉCNICO

En este segundo capítulo se realiza el primer método de análisis de precios de los diferentes modelos cuantitativos que serán utilizados a lo largo de todo el proyecto, que será el análisis técnico. En una primera aproximación a él, es importante hablar sobre su significado. El **análisis técnico** es un tipo de análisis bursátil, consistente en el estudio de los movimientos del mercado (siendo precio y volumen las principales fuentes de estos movimientos) principalmente mediante el uso de gráficos, con el propósito de pronosticar las futuras tendencias de los precios. (Murphy, 2000)

Es fundamental entender que **los precios se mueven por tendencias**, las cuales el análisis técnico trata de detectar durante los primeros pasos de su desarrollo, con el objetivo de que las transacciones vayan en la dirección de las mencionadas tendencias. Esto juega un papel imprescindible en la determinación de las principales previsiones económicas futuras, ayudando el análisis técnico a la anticipación de las mismas. Se debe tener en cuenta, a mayores, que los mercados se ven afectados por todo aquello que pueda ocurrir en el ámbito global, siendo el precio de un valor cotizado lo que refleja este impacto; el precio es un indicador fundamental respecto a la oferta y demanda existente por el valor que representa. Esto es lo que la afirmación clásica de que **el precio “lo descuenta todo”** nos viene a decir. En resumen, hay tal volumen factores políticos y económicos que afectan al precio, que esta cantidad no es posible calcularla como una variable independiente de las demás, sino que se estudia de manera intrínseca mediante su observación a largo plazo a través de patrones, tendencias y canales, que son los que constituyen los fundamentos del análisis técnico.

Además, se debe realizar una diferenciación entre estadística descriptiva e inductiva (Vellando, 1978), las dos grandes ramas de la estadística y ambas utilizadas en este tipo de análisis; en tanto la primera hace referencia a la disciplina encargada del análisis cuantitativo mediante la recolección, almacenamiento y ordenamiento y representación gráfica de datos (en este caso, por ejemplo, precios en un determinado gráfico de puntos o barras), la segunda, la estadística inductiva, generaliza y extrapola a otros campos los datos analizados a partir de dichos gráficos. Esto es de lo que trata el análisis técnico, fundamentado en unas premisas estadísticas sólidas; realiza el **análisis de precios y cotizaciones antiguos en representaciones gráficas** para, a partir de ellos, emplearlos

hacia proyecciones y predicciones futuras. Las proyecciones futuras de precios son fundamentales a la hora de invertir, pues no se debe utilizar un patrón aleatorio o azaroso para gestionar las inversiones. Lo que permite el análisis técnico es **reducir el componente del azar todo lo posible** (tampoco podemos predecir el futuro) mediante el estudio y análisis de tendencias y datos pasados; con esta información se toman las decisiones racionales que deberían guiar toda inversión en los mercados financieros (Ferrer, 2010). Cabe destacar que las reacciones a los movimientos y oscilaciones en el mercado suelen ser siempre parecidos a lo largo de la historia, debido entre otros aspectos a la persistencia y continuidad de la psicología humana y el pensamiento racional, que actúa de manera similar en épocas diferentes. Esto ayuda en la conformación de los distintos patrones, dibujos descritos en las gráficas de cotizaciones con un alto valor de predicción durante tendencias alcistas, bajistas o laterales, siendo estas últimas en las que aparecen la mayoría de los patrones.

Para el análisis técnico de los precios de las acciones de Saudi Aramco, se van a emplear diferentes herramientas para el análisis gráfico (**chartismo**), **e indicadores técnicos para el análisis cuantitativo**. Los indicadores técnicos se aplican sobre el precio, el volumen, o ambas, de las acciones para reflejar información ya conocida. Deben de utilizarse en complementación con otras herramientas técnicas como patrones de precios, líneas de tendencia o soportes.

2.1.CANALES Y LÍNEAS DE TENDENCIA

En esta primera parte del análisis técnico se va a proceder a analizar las diferentes direcciones y tendencias que siguen las cotizaciones de Aramco en el mercado, desde su salida a bolsa en el mes de Diciembre del 2019, hasta el mes de Mayo del presente año. Así se podrá obtener un contexto de cómo han ido afectando a las acciones de la petrolera diferentes acontecimientos desde su salida a Bolsa, como la crisis pandémica del Covid-19, o la reciente Guerra de Ucrania con las consecuentes sanciones a Rusia, en las que el petróleo es algo al punto del día. Como bien es sabido, **los movimientos del mercado no acontecen de manera continua**, ni son una línea recta: más bien son una sucesión de altos y bajos, picos y valles, y dependiendo de cómo vayan siendo aparecerá una u otra tendencia.

Como se introducía anteriormente, **se diferencian 3 principales tendencias**: una tendencia alcista, identificada cuando los máximos son sucesivamente más elevados de forma continua y consistente; una tendencia bajista, en la que existe una sucesión de máximos y mínimos decrecientes; y por último una tendencia lateral, en la que el mercado no se acaba de decidir entre seguir alguna de las otras dos tendencias, oscilando en un rango estrecho entre soportes y resistencias fiables (Gordon, 2003). Así mismo, las tendencias también se pueden clasificar por su duración temporal en tres grupos: la tendencia principal, aquella con duración superior a un año; la tendencia secundaria, también conocida como intermedia, con una duración entre algo menos de un mes (suele estar en torno a las 3 semanas) y un año; y por último la tendencia de corta duración, con un plazo siempre inferior a 3 semanas (Pring, 2014)

Para el análisis de los canales y líneas de tendencia, **se dividirá el período de cotización desde Diciembre de 2019 hasta Mayo de 2022 en 4 principales temporalidades**: desde la salida a bolsa hasta el inicio de la crisis del COVID, donde se identifica una clara tendencia bajista que encuentra su punto mínimo con el inicio de la pandemia; seguido por el período de recuperación tras los primeros confinamientos, que se extiende hasta finales del año 2020, en una clara tendencia alcista; continuando con un largo período de estabilidad, con una tendencia lateral que se prolongará a lo largo de todo el año 2021; y terminando, por último, con la mayor tendencia alcista vista hasta el momento, provocada por la subida de los precios del petróleo y las sanciones y prohibiciones exportadoras de esta materia prima a Rusia, a causa de la invasión de Ucrania. En esta última tendencia se han alcanzado máximos históricos, aunque está caracterizada por la gran inestabilidad provocada por el conflicto armado y las decisiones político-económicas de la comunidad internacional, en la que Arabia Saudi y especialmente Aramco juegan un papel muy importante en cuanto a temas petrolíferos se refiere.

2.1.1. CANALES

Un canal es uno de los elementos utilizados para identificar tendencias. Se forman trazando dos líneas a la línea de tendencia teórica, que coincidirán con líneas paralelas entre los máximos y los mínimos. Son una parte muy significativa dentro del análisis de tendencia, y se usan a menudo como referencia para establecer los niveles de “take

profit”¹ y “stop loss”² así como para identificar las rupturas y comienzos de nuevas tendencias.



Figura 1: Los cuatro canales principales de SAOC, trazados a partir de la cotización semanal en riales saudíes en escala normal, correspondiente al período Diciembre2019-Mayo2022. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

A continuación, se procederán a analizar los canales establecidos en cada uno de estos 4 períodos:

¹ [1] Orden bursátil que tiene el objetivo de cerrar una operación cuando el precio del activo alcanza el valor previamente estipulado para dicha transacción.

² [2] Orden condicionada en la que se ejecuta la venta de un activo determinado cuando su precio desciende de un límite establecido con anterioridad por el inversor.

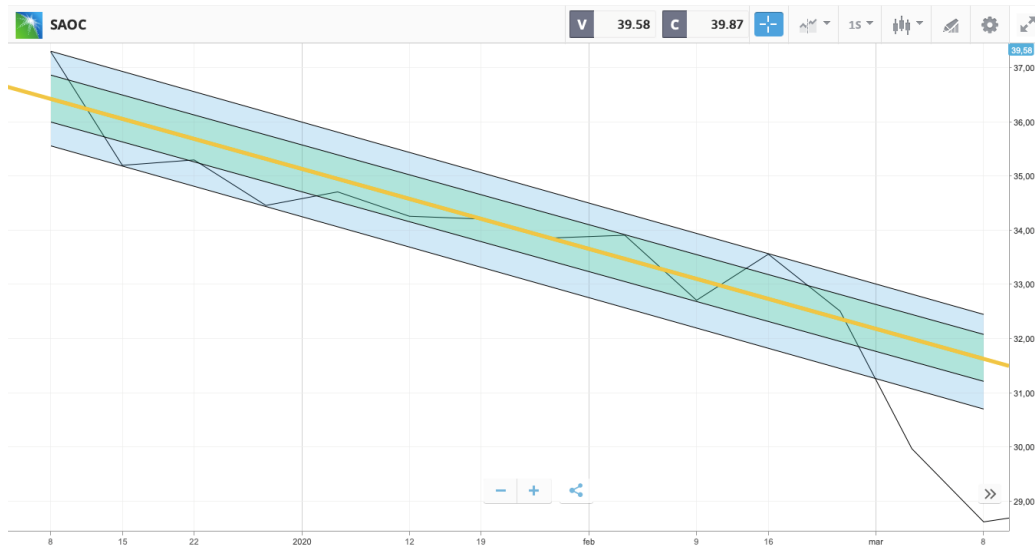


Figura 2: Canal principal de SAOC, trazado a partir de la cotización semanal en riales saudís en escala normal, correspondiente al período Diciembre2019-Marzo2020. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

En la figura 2 se puede observar el primer canal identificado; desde su salida a bolsa en Diciembre de 2019, el precio de las acciones de la petrolera fue descendiendo progresivamente, formando una evidente tendencia bajista en la que **el canal se rompió por abajo en el punto más álgido de la crisis del Covid**: el inicio de los primeros confinamientos, la avalancha de fallecimientos, la caída masiva de los mercados financieros y el inicio de un gran período de incertidumbre.

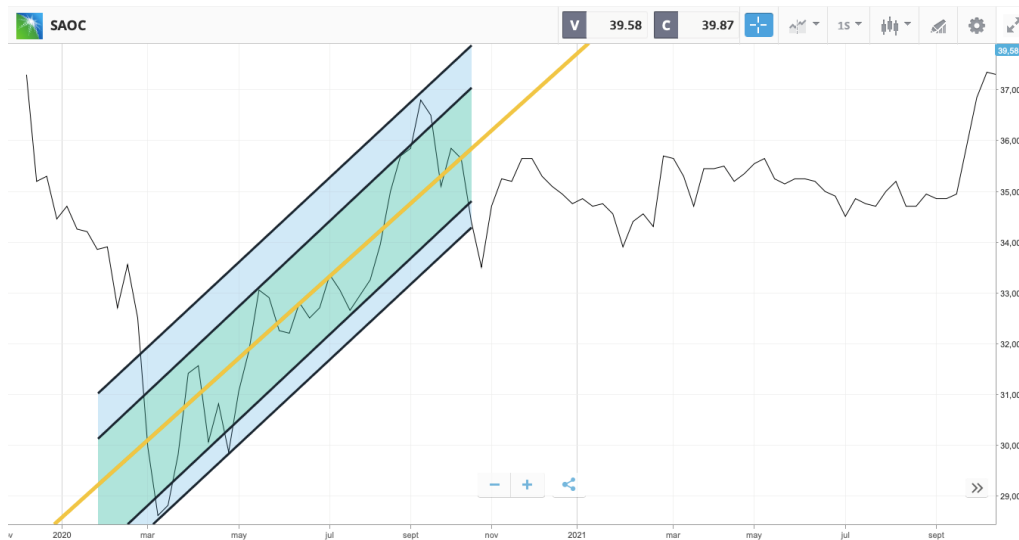


Figura 3: Canal principal de SAOC, trazados a partir de la cotización semanal en riales saudís en escala normal, correspondiente al período Marzo2020-Noviembre2020. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

Pasados los peores días y semanas del inicio de la pandemia Covid-19, llega una recuperación generalizada de los mercados, en los que el crecimiento económico y la recuperación en búsqueda de la situación prepandemia comienzan a ser tangibles. En el caso de Aramco, a partir de mediados de Marzo de 2020 se inicia una evidente tendencia alcista, en la que los mínimos son sucesivamente más elevados, ocurriendo lo mismo con los máximos, que se quedan a un suspiro de alcanzar, en Septiembre de 2020, el precio inicial de salida a bolsa. Esta cifra no se volverá a alcanzar hasta más de un año después, iniciándose en Octubre de 2020 una tendencia lateral, en la que, pese a no caer los mínimos más que un hundimiento registrado en el mes de Noviembre, los máximos no seguirán teniendo la misma línea de crecimiento, sino que **estarán estancados en una resistencia sin poder romper por arriba el canal hasta Octubre de 2020.**

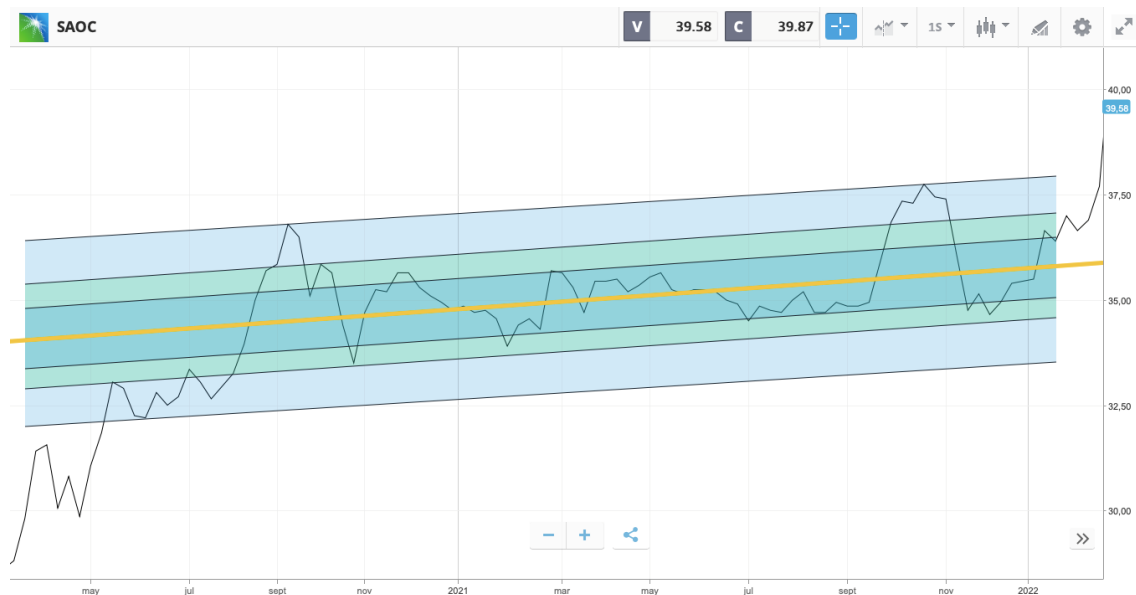


Figura 4: Canal principal de SAOC, trazados a partir de la cotización semanal en riales saudíes en escala normal, correspondiente al período Noviembre2020-Noviembre2021. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

Es entonces cuando el canal se rompe por arriba (se puede observar en la gráfica cómo se rompe el canal interno), pero pronto **se topa con una nueva resistencia** y comienza a un descenso igual de brusco, casi simétrico, entre Septiembre y Noviembre recuperando pronto los niveles de precios anteriores. Podría decirse que se ha dado una breve tendencia alcista, que pronto se convirtió en una tendencia bajista estabilizándose en el soporte anterior, que no ha conseguido romperse a la baja desde Noviembre de 2020.

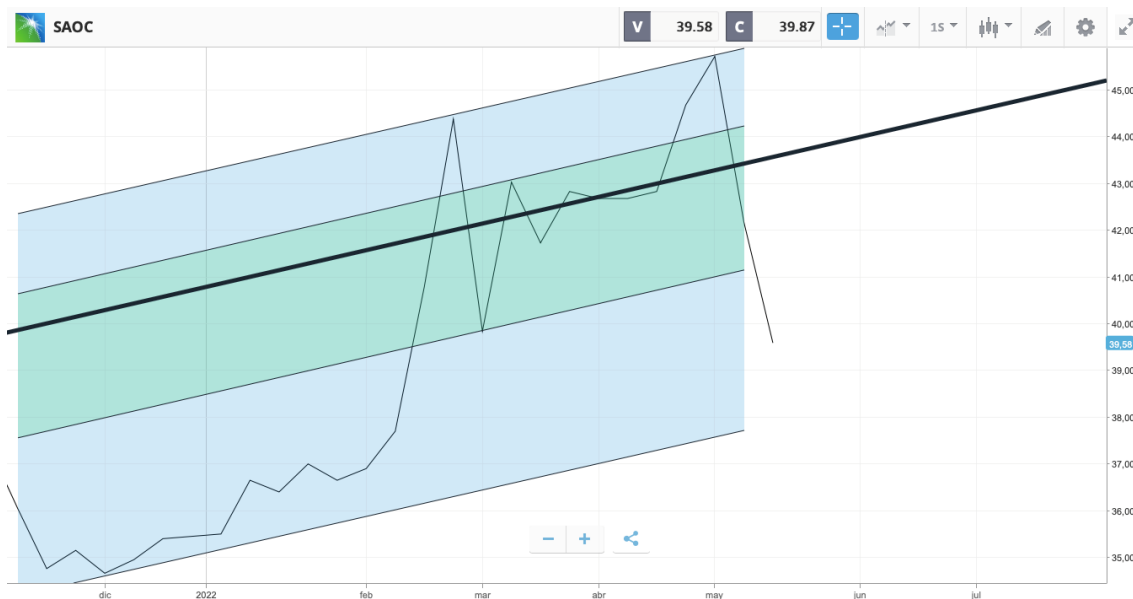


Figura 5: Canal principal de SAOC, trazado a partir de la cotización semanal en riales saudíes en escala normal, correspondiente al período Diciembre2021-Mayo2022. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

Es entonces cuando, a principios de 2022 se inicia de nuevo una tendencia alcista en la que el precio conseguirá romper definitivamente el canal por arriba, superando la resistencia anterior de la que no consiguió pasar en el mes de Noviembre. Es a mediados de Febrero, cuando la **invasión rusa en Ucrania** es ya un hecho, cuando se inicia una subida más inclinada, **rompiendo el canal alcista por arriba**, llegando a su clímax el día de la invasión (25 de Febrero), comenzando entonces una bajada repentina e igual de inclinada que se estabilizaría a mediados del mes de Marzo, y alcanzando su punto más elevado en Mayo.

2.1.2. LÍNEAS DE TENDENCIA

Las líneas de tendencia son rectas en un gráfico (precio-tiempo) que se trazan uniendo al menos tres soportes o resistencias de un precio. (en la mayoría de los casos para trazarlas no se consideran mechas de las velas japonesas si no sólo el cuerpo de la vela). Una línea ascendente de tendencia es una recta inclinada hacia arriba y hacia la derecha, que sigue unos mínimos sucesivos de reacción; una línea de tendencia descendente está inclinada hacia abajo y hacia la derecha sigue unos picos sucesivos de recuperación. (Murphy, 2000)

Para entender el impacto de las líneas de tendencia, se deben comprender también dos conceptos importantes como son los soportes y las resistencias. Estos marcan los niveles de precios en los que este se detiene en el gráfico, debido a la fuerte oposición entre las fuerzas alcistas y bajistas, la oferta y la demanda, siendo los propios participantes del mercado los que marcan estos niveles debido a que son considerados niveles psicológicos.

Respectivamente, el soporte es aquel nivel donde el precio frena su tendencia bajista para recuperarse y volver a ascender; mientras que la resistencia es totalmente lo contrario, refiriéndose al nivel en el cual el precio ya no sube más, para proceder a descender.

Esto explica por qué son considerados niveles psicológicos: el soporte suele coincidir con un mínimo anterior en el gráfico, y lo normal aquí es que la compra supere a la venta debido que el precio ha descendido, y esto vuelva a provocar un incremento del propio precio (muchos compradores), cambiando la tendencia. Lo mismo ocurre con las resistencias, pero al contrario. Dependiendo de cómo sea el canal, alcista o bajista, se le dará más importancia a uno o a otro, siendo en el canal alcista el más importante el soporte, pues la rotura de este significaría un cambio de tendencia. Son lo mismo, siendo la diferencia entre ambos virtual: una vez superada una resistencia, esta se convierte en soporte, y viceversa.

En la figura 6 se pueden observar las **diferentes líneas de tendencia** a lo largo de los períodos de estudio:



Figura 6: Las 4 principales tendencias de SAOC, trazados a partir de la cotización semanal en riales saudíes en escala normal, correspondiente al período Diciembre2019-Mayo2022. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

Se distinguen con claridad las distintas tendencias sucesivas, consecuencia de fenómenos globales en su mayoría, como la pandemia de Covid-19, o la invasión de Ucrania. A continuación, se procederá al análisis de cada una de estas tendencias por separado.



Figura 7: Tendencia bajista detectada en SAOC, trazados a partir de la cotización semanal en riales saudís en escala normal, correspondiente al período Diciembre 2019-Marzo 2020. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

La primera tendencia que aborda este análisis es la ya mencionada anteriormente **tendencia bajista** que parte de la salida a la bolsa de Riad de la petrolera, y culmina con una mayor inclinación bajista debido al inicio de la pandemia de coronavirus. La línea de tendencia pasa por varios puntos de apoyo, 3 en concreto, hasta que llega el desplome pandémico; esto indicaría que es una tendencia válida, que en este caso sería una **tendencia intermedia o secundaria** pues su duración excede las 3 semanas pero es muy inferior a un año. Se observa claramente la tendencia bajista en la sucesión de máximos decrecientes hasta el hundimiento. Tras los primeros avances de la pandemia, la recuperación generalizada de los mercados también afecta a Aramco, como era de esperar. Inicia entonces una tendencia alcista intermedia no muy inclinada, aproximadamente en ángulo de 45°, que se prolongará durante meses hasta que llegan los síntomas de su debilitación.



Figura 8: Tendencia alcista detectada en SAOC, trazados a partir de la cotización semanal en riales saudís en escala normal, correspondiente al período Marzo2020-Septiembre2020. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

Esta debilitación termina por quebrantar el soporte de la línea de apoyo con un brusco descenso del precio, que se situará de nuevo por debajo de los 34 riales. Tras un amago de recuperación en el que la tendencia pretende querer seguir continuando al alza, vuelve a descender, esta vez de forma más moderada. Es ahora cuando comenzará un período de estabilidad, sin grandes subidas o bajadas, que dará lugar a una **tendencia lateral que podría considerarse como la tendencia principal** en el histórico de cotizaciones de Aramco, debido a su permanencia durante ligeramente más 12 meses, hasta que consigue romper la línea de resistencia situada en el precio de 35,80 riales.



Figura 9: Tendencia lateral detectada en SAOC, trazados a partir de la cotización semanal en riales saudís en escala normal, correspondiente al período Septiembre2020-Noviembre2021, con una resistencia situada en el precio de 35,80 riales. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

Esta tendencia finalizará con una cuña ascendente rota en la cual, tras una pronunciada subida exponencial al final de la tendencia, intenta estabilizarse, sufriendo una caída igual

de pronunciada. Tras esta, la tendencia efectúa un pullback³ que posteriormente sí significará un cambio de tendencia a una tendencia alcista, que resultará en un crecimiento exponencial con el inicio de la invasión a Ucrania.



Figura 10: Tendencia alcista detectada en SAOC, fruto de la subida del petróleo tras la invasión rusa de Ucrania, trazados a partir de la cotización semanal en riales saudíes en escala normal, correspondiente al período Enero 2022-Mayo 2022. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

La subida de los precios del petróleo ocasionada con el conflicto armado, considerando el papel central tanto de Aramco, como de Arabia Saudi en la OPEP, provocan una **subida drástica del precio de las cotizaciones de Aramco en un 28%** (Yahoo Finance, 2022)

2.2.MEDIAS MÓVILES

La media móvil es un indicador técnico cuyo uso es uno de los más versátiles, útiles y extendidos. Las medias móviles pueden cuantificarse, usando una fórmula cerrada basada en los precios precedentes, y generan señales distintas y específicas que informan del momento para comprar o vender, debido a su precisión. **La función media móvil $m(t)$ de periodo n , se construye de la siguiente manera $m(t)=(p(t-1)+\dots+p(t-n))/n$, siendo $p(t)$ el precio del activo en el período t .** Permiten eliminar el ruido del mercado, aclarando el sentido de la tendencia, pues suaviza las fluctuaciones que puedan

³ Dicho del movimiento de recuperación realizado por el precio tras perder un soporte, iniciando una subida que llega hasta el soporte perdido anteriormente, pero sin conseguir rebasarlo

experimentar los diferentes precios, eliminando todos aquellos movimientos que con su menor importancia puedan estar tergiversando la verdadera dirección del mercado. Cuanto más corto sea el período en el que se realice la media móvil, más ruido tendrá incluido del mercado, dando lugar a falsas señalizaciones de cambios de tendencia, pero tardará menos en reaccionar con los ruidos del mercado, y viceversa. También indican y prevén si la tendencia va a continuar o se va a revertir: esto depende de si la línea de los precios cruza o por el contrario no traspasa la media móvil. El precio siempre tenderá a acercarse a cualquier media móvil en base al principio estadístico de que todo regresa a su media en algún momento (Rabassa Yuri, 2022). Gracias a ello, sirven también para detectar extremos del precio en el mercado, indicando si la tendencia está lista para iniciar una corrección.

Partiendo de que no hay ninguna media móvil correcta o incorrecta, sino que de lo que se trata es de intentar adecuarla lo mejor posible en base a las circunstancias, se iniciará este análisis aplicando una media móvil de 20 períodos.



Figura 11: Análisis de las cotizaciones de SAOC, trazados a partir de la cotización diaria en riales saudí en escala normal, correspondiente al período Diciembre2019-Mayo2022, añadiendo una media móvil de 20 períodos, y señalando 3 puntos clave explicados a continuación. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

En la figura 11 se puede observar cómo la **media móvil simple de 20 períodos**, pese a ser relativamente larga, indica con precisión los cambios de tendencia pese a reaccionar con menor rapidez a los cambios del mercado; se puede observar en las zonas señaladas cómo la línea de precios cruza por completo la media móvil, lo cual es una señal de que

el precio se agota y un cambio de tendencia se aproxima. Los momentos de cruce entre ambas señalados son los del cambio de la tendencia bajista provocada por el Covid, a la tendencia alcista de recuperación; el cese de dicha tendencia y el inicio de una tendencia lateral aunque levemente alcista; y el inicio de una breve tendencia bajista que será seguida de la tendencia alcista de mayor grado hasta la fecha. Probando a utilizar una media móvil más corta, y contrastándola con una de mayor duración:



Figura 12: Análisis de las cotizaciones de SAOC, trazados a partir de la cotización diaria en riales saudíes en escala normal, correspondiente al período Abril 2020 -Mayo2022, añadiendo una media móvil de 100 períodos y otra de 5. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

En este caso, se han elegido dos medias móviles muy dispares, simplemente para contrastar gráficamente sus diferencias: observamos que la media de mayor duración, representada en azul, de 100 períodos, reproduce la tendencia del mercado eliminando todos los ruidos y falsas señales posibles, pero con el contratiempo de su lenta capacidad de reacción (observamos la gran separación con la línea de precios). Por el contrario, como se observa en la línea roja (media de 5 períodos), esta es excesivamente corta, pues pese a reaccionar rápidamente, no filtra los falsos movimientos que alteran la correcta visualización de la tendencia. Si se quieren reproducir señales más exactas, lo ideal es mezclar medias más parecidas entre sí; a continuación, en la figura 13, se mezclarán dos medias, de 10 y 50 períodos respectivamente, en lo que se conoce como el **método del doble cruce**.

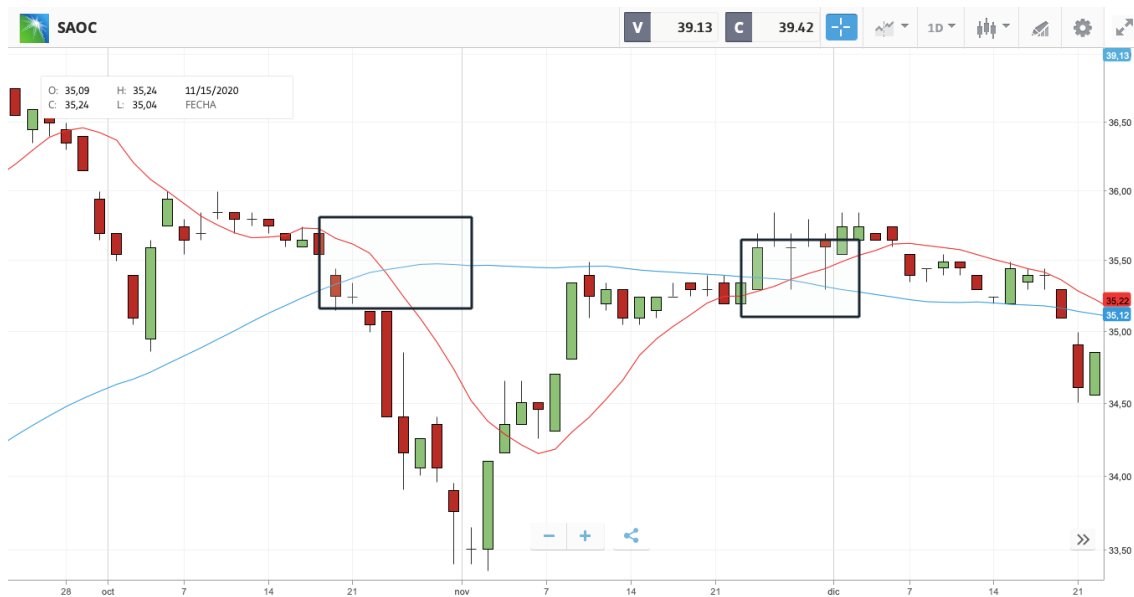


Figura 13: Análisis de las cotizaciones de SAOC, trazados a partir de la cotización diaria en riales saudíes en escala normal, correspondiente al período Abril 2020 -Mayo2022, añadiendo una media móvil de 10 períodos y otra de 50, realizando el método del doble cruce. Elaboración propia usando la aplicación EToro.

En la figura 13 se pueden diferenciar dos zonas: la primera, en el rectángulo de la izquierda, en la que la media móvil más larga (**50 períodos**) cruza por encima de la otra, de menor duración (**10 períodos**); en la otra zona, por el contrario, la media de menor duración se sitúa por encima de aquella de mayor duración. Esto tiene un significado, y se traduce en forma de señales de compra o venta: en la primera situación, se da una señal de venta, anticipando el descenso del precio al cruzar la media más corta por encima de la larga; sin embargo, en el otro recuadro, la media más corta cruza por encima de la media más larga, emitiendo una señal de compra y anticipando una tendencia alcista. Sin embargo, observando la continuidad de la gráfica por la derecha, se observa como el método del doble cruce emitió una falsa señal de compra que se va corrigiendo a medida que las medias se van acercando.

No solamente se pueden utilizar dos medias para emitir señales, sino que existe el **método del triple cruce**. Para analizar este método y explicar en la práctica las señales que emite, se estudiará el cambio de tendencia bajista a alcista tras el inicio del COVID y la posterior recuperación.



Figura 14: Análisis de las cotizaciones de SAOC, trazados a partir de la cotización diaria en riales saudíes en escala logarítmica, correspondiente al período Marzo 2020 - Mayo 2020, realizando el método del triple cruce. Elaboración propia usando la aplicación EToro

El método del triple cruce se utiliza mediante un sistema triple de medias móviles de 4, 9 y 18 días, respectivamente (Murphy, 2000). Partiendo de la base de que cuando más corta sea la media, más se va a aproximar a la línea de precios, es lo lógico afirmar que, en una tendencia alcista, la media de 4 días estaría por encima de la de 9, que a su vez estaría por encima de la de 18, aconteciendo exactamente lo contrario en una tendencia bajista. Pues bien, dado esto, en una tendencia bajista aparecerá una señal de compra una vez que la media móvil de 4 períodos cruce por encima de la media móvil de 9 períodos, confirmándose esta señal de compra cuando la media de 9 períodos se sitúe a su vez por encima de la de 18, quedando la de 4 por encima de las dos y confirmando la subida de precios, el cambio de tendencia y por tanto emitiendo una señal de compra. En la gráfica se puede observar esta situación, en la que **tras el hundimiento fruto de la pandemia del Covid-19, las 3 medias móviles se sitúan en estas posiciones emitiendo señales de compra**. Se emitirían señales de venta en una tendencia alcista cuando la colocación de las medias fuera exactamente al revés.

2.3.BANDAS DE BOLLINGER

Continuando con el análisis de las medias móviles, es importante también otro indicador para su estudio: las bandas de Bollinger, dos bandas de fluctuación alrededor de la media

móvil, colocadas dos desviaciones típicas por debajo y dos por encima de la misma (Murphy, 2020). Estas bandas se ensanchan o se estrechan en función de la volatilidad del mercado, que es cíclica y funciona con períodos de volatilidad intermitentes (añadir pie de página sobre qué es la volatilidad: indicador que permite conocer al inversor de un determinado activo si la acción sobre la que está invirtiendo realiza movimientos bruscos en su cotización. Se expresa en % y se calcula como la desviación típica que registra dicho activo con respecto a la media de su cotización histórica en un momento determinado). Si el precio se aleja demasiado de la media, considerando este “demasiado” como más de dos desviaciones típicas, entonces estaremos ante una gran volatilidad, lo cual se representará como una mayor separación entre ambas bandas. Con la medida de las dos desviaciones típicas, en una media móvil de 20 períodos, se asegura que el 95% de la información (hay un 5% de error) caerá entre las dos bandas; el hecho de que los precios entren en contacto con alguna de las dos bandas es una señal de compra o bien de venta. Cuando la línea de precios cruza la línea de media móvil, procedente de una de las bandas, y se dirige hacia la banda contraria, suele indicar un cambio de tendencia.

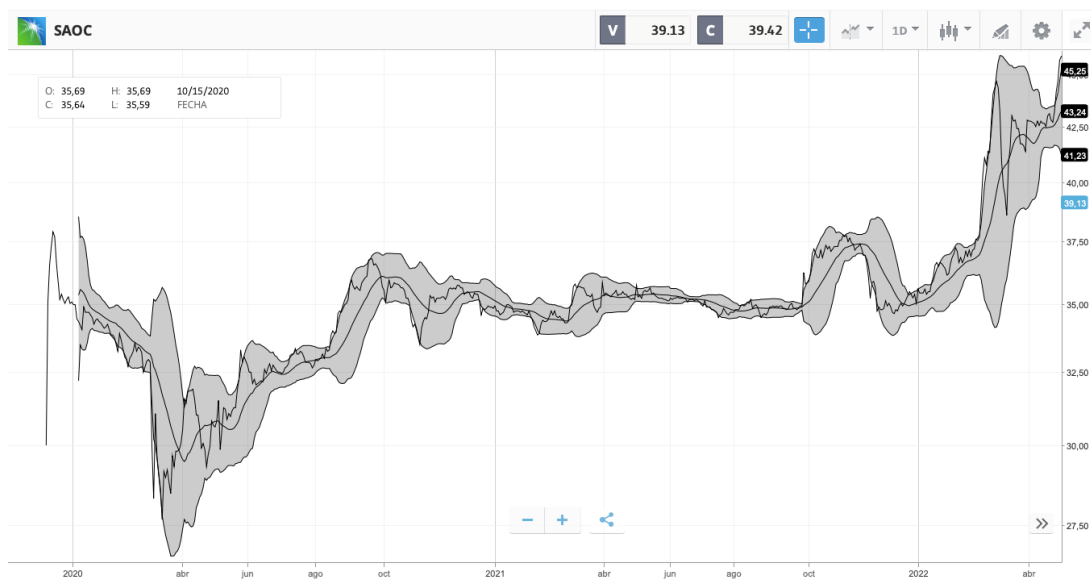


Figura 15: Análisis de las cotizaciones de SAOC, trazados a partir de la cotización diaria en riales saudíes en escala normal, correspondiente al período Diciembre2019 -Mayo2022, añadiendo bandas de Bollinger. Elaboración propia usando la aplicación EToro

En la gráfica anterior se observa a la perfección los **períodos de volatilidad intermitente en el mercado**: los períodos de mayor volatilidad coinciden con dos situaciones con mucha incertidumbre a nivel global y con mucho impacto para el sector y para la petrolera

en concreto, el comienzo de la crisis del COVID-19, y el inicio de la invasión rusa de Ucrania, a lo largo de las cuales ha habido gran fluctuación de precios; sin embargo, los períodos con baja volatilidad, es decir, en los que las bandas de Bollinger se estrechan, son los periodos entre ambas situaciones, y coinciden con el periodo de estabilidad central en las cotizaciones de Aramco, en el que predomina una tendencia lateral con una ligera connotación alcista.



Figura 16: Análisis de las cotizaciones de SAOC, trazados a partir de la cotización diaria en riales saudíes en escala normal, correspondiente al período Noviembre2021-Mayo2022, añadiendo bandas de Bollinger y observando la rotura de las mismas. Elaboración propia usando la aplicación Etoro

En la figura 16 se observa como, al inicio del conflicto armado en Ucrania, la línea de precios crece exponencialmente, acercándose cada vez más a la banda superior y llegando incluso a romperla. Esto se debe a una sobrecompra de acciones de Aramco en ese momento, debido al crecimiento exponencial de la tendencia, los inversores quieren unirse a ella y sube la compra de acciones en este momento, llegando a romper la banda y generando ese 5% de error que antes era analizado.

2.4.ADX

Por último, se analizarán las cotizaciones de Saudi Aramco a través de un indicador técnico denominado ADX, a través del cual se puede medir la dirección e intensidad del gráfico de precios, ayudando a la identificación y medición de tendencias. Consta a su

vez de varios indicadores a través de los cuales obtener una dirección objetiva del mercado.

El primero de estos indicadores es el DMI (Directional Movement Indicator): sirve para medir la direccionalidad del mercado. Un mercado tiene algún tipo de direccionalidad alcista cuando la siguiente vela o barra tiene su máximo situado por encima del máximo anterior (+DM, diferencia entre el nuevo máximo y el máximo anterior); mientras que un mercado tiene algún tipo de direccionalidad bajista cuando la siguiente vela o barra tiene su mínimo situado de manera inferior al mínimo anterior (-DM, diferencia entre el nuevo mínimo y el mínimo anterior). Si se superan tanto el máximo como el mínimo anterior, se escogería el mayor de los dos despreciando automáticamente el restante. Con estos valores del DM, uno midiendo la direccionalidad alcista y otro la bajista, se construye el DMI, calculándose cada uno de ellos como el cociente entre el DM (positivo o negativo) de los últimos 14 períodos, entre el ATR⁴ de los mismos períodos, que es el rango de movimiento en ese período, obteniendo así una especie de centro de gravedad, que indica hacia dónde ha ido la direccionalidad respecto al rango completo de movimiento del precio. El resultado se traza en forma de líneas situadas en la parte inferior del gráfico de precios. Cuando el DM positivo se sitúa por encima del DM negativo, significaría que la direccionalidad positiva es superior a la direccionalidad negativa, tratándose por lo tanto de un movimiento alcista, y viceversa. Según aumenta la divergencia o separación entre ambas, mayor será la direccionalidad de la tendencia.

Siguiendo estos pasos se llega al indicador DX, que calcula un ratio en porcentaje según el cociente entre las diferencias entre ambos DMs. Este ratio será el índice de direccionalidad o DX, al que habrá que aplicarle una media móvil de 14 períodos para obtener así el ADX, trazado en forma de línea. Este indicador, por lo tanto, mide solamente la intensidad o fuerza de la tendencia, no su direccionalidad (esta función es propia del DMI y el DX), significando que si está situado cerca de la parte superior, la direccionalidad es fuerte (sea esta bajista o alcista, medida por el DX). **El ADX crecerá realizando máximos crecientes cuando la tendencia está sana y firme**; por ello, será probable que la tendencia esté lista para realizar una consolidación, punto muy bueno

⁴ Average True Range: herramienta útil para conocer el movimiento de un activo en un rango comprendido entre los máximos y los mínimos.

para subirse a una tendencia, puesto que está lista para volver a tomar impulso, siempre bajo la confirmación de la acción del precio.

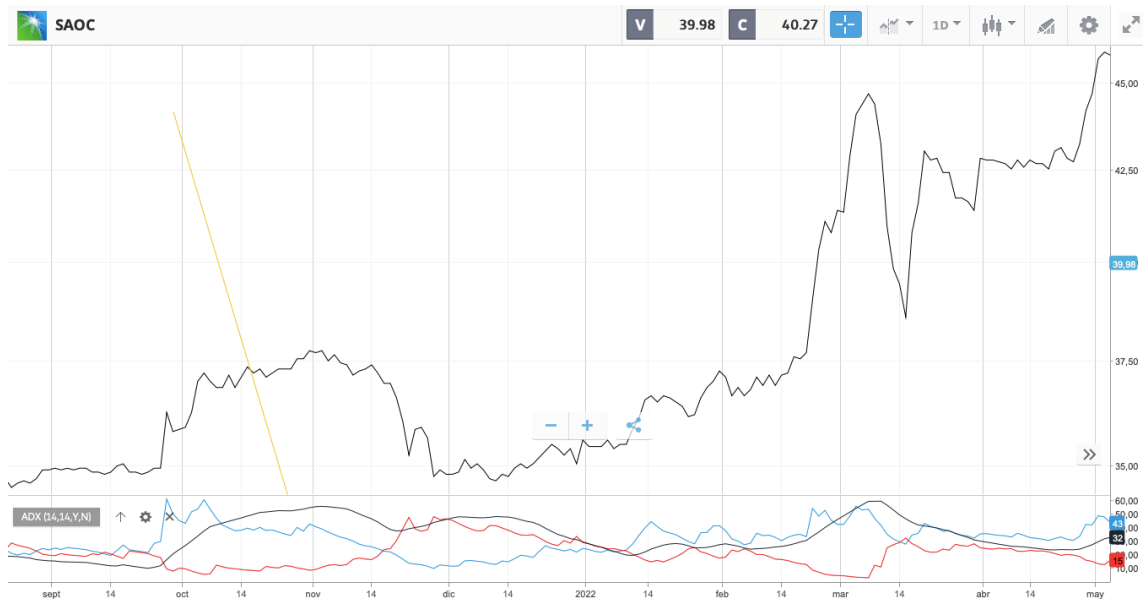


Figura 17: Análisis de las cotizaciones de SAOC, trazados a partir de la cotización diaria en riales saudíes en escala logarítmica, correspondiente al período Septiembre2021-Mayo2022, añadiendo DMI, DMX y ADX. Elaboración propia usando la aplicación EToro

En la figura 17, se observa cómo en la zona señalada por la franja de color amarillo, la línea del ADX se sitúa muy cerca del límite superior, indicando que la tendencia es fuerte e intensa, y está lista para realizar una consolidación; está confirmando la tendencia alcista, que viene indicada por la superioridad de la línea azul (DM positivo) sobre la línea de color rojo (DM negativo), indicando una direccionalidad alcista de la tendencia a mediados de Noviembre de 2021; esto es una antesala de la mayor tendencia alcista que experimentarán hasta la fecha las cotizaciones de Aramco con el comienzo de la invasión rusa sobre Ucrania.

3. CAPÍTULO 3: AJUSTE FUNCIONAL

Una vez que se han analizado desde el punto de vista técnico las cotizaciones de Saudi Aramco desde su salida a bolsa en Diciembre de 2019, hasta el mes de Mayo del presente año, se procederá ahora al **análisis funcional de las variables precio (p) y tiempo (t)**, mediante el **ajuste de datos a funciones**, teniendo como objetivo resolver el problema de optimización de calcular las funciones de entre familias parametrizadas que minimicen el error cuadrático con respecto a los datos de los que se parte (precio y tiempo, cotizaciones de Saudi Aramco en la serie temporal 2019-2022). Por tanto, este nuevo análisis será un estudio más cuantitativo, que en el primer capítulo de naturaleza técnica-descriptivo. Los períodos a analizar seguirán estando divididos de la misma manera que en el análisis técnico, respetando así las hipótesis de las que se parten.

3.1. OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS EN FUNCIONES MEDIANTE CURVE-FITTING

El objetivo de este primer análisis es **hallar las funciones que mejor se ajusten a los datos de los que se dispone**⁵, es decir, la **optimización** de parámetros. Esto se realizará mediante el conocido como *Curve-fitting* o ajuste de curvas⁶, mediante el cual se determina la función matemática de comportamiento similar al de la curva de precios, en un período de tiempo determinado. Mediante la utilización del paquete de herramientas *Curve fitting* de la aplicación matemática Matlab, adaptarán los parámetros deseados y necesarios para obtener las diferentes funciones. Una vez realizadas, se debe escoger la más apropiada para cada rango temporal de precios; esto se hace mediante el análisis **coeficiente de correlación múltiple o coeficiente R cuadrado**, coeficiente que analiza la varianza de la variable estudiada que es explicada por la regresión, es decir, que mide la bondad del ajuste. A mayor coeficiente de R cuadrado (en una escala de 0 a 1), el ajuste de la función será mejor, al ser esta más similar a los datos reales, esto es, a la curva de precios. (Salvador, 2008)

⁵ Estos datos proceden de las extracciones realizadas de las siguientes páginas web técnico-financieras: EToro, Investing.com, YahooFinance, AtomFinance. Pertenecen a las cotizaciones históricas de precios de la petrolera saudí Aramco.

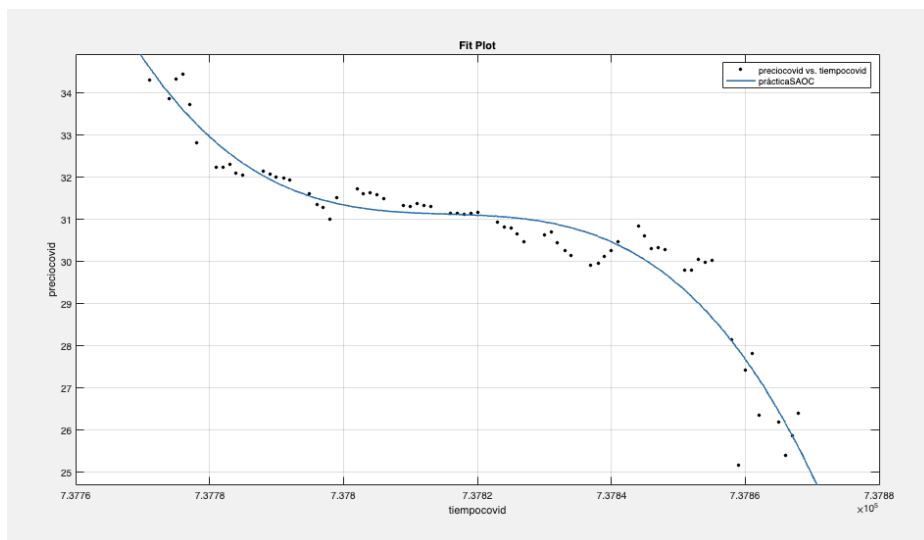
⁶ Consistente en la consecución de una curva o función de la que formen parte una serie de puntos coincidentes con los datos empleados; dándose a mayores una serie de restricciones.

A continuación, se procederá al análisis funcional de los precios, determinando las mejores funciones para cada rango temporal, basadas en los criterios objetivos explicados anteriormente.

3.1.1. PRIMER PERÍODO

El primer período de este análisis fluctúa desde la salida a Bolsa de la petrolera (en Diciembre de 2019), hasta el inicio del auge de la pandemia del Covid-19, donde se producen las grandes caídas en los mercados financieros globales, aproximadamente la primera semana de Marzo. Como ha sido previamente indicado en el análisis técnico, los precios aquí siguen una tendencia bajista, rompiéndose el canal por abajo con el apogeo de la pandemia, provocando un hundimiento de los mismos.

La optimización en este período se ha realizado con una **función polinómica de grado 3**, al ser esta la que mejor se ajustaba en base a la trayectoria de la función con respecto al recorrido de los precios, y la que mejor coeficiente de R^2 obtiene, concretamente 0,915, siendo un poco inferior el R cuadrado ajustado. La RMSE⁷ en este caso es de 0,5833. Si se observa en la figura 18, la función sigue la tendencia bajista detectada en el mercado, realizando una corrección en el tramo intermedio, previo a la brusca caída pandémica.



⁷ Error cuadrático medio, mide la cantidad de error existente entre dos conjuntos de datos. Variación estándar de la varianza inexplicada.

Figura 18: Elaboración propia con Curve Fitting Matlab. Función polinómica de tercer grado.

La ecuación de esta función polinómica de tercer grado será:

$$F(x)=p1*x^3+p2*x^2+p3*x+p4$$

Los coeficientes, con una confianza del 95%, son:

$$p1=-3.671e-05$$

$$p2= 81.26$$

$$p3=-5.996e+07$$

$$p4=1.475e+13$$

$$R\text{-Square: } 0.915$$

$$RMSE:0.5833$$

3.1.2. SEGUNDO PERÍODO

El mismo tipo de función, pero de menor grado (**polinómica de grado 1**) es la que se ha considerado utilizar para el segundo tramo tendencial, que fluctúa entre el hundimiento del COVID-19 en Marzo de 2020, hasta que se llega a un período de cierta estabilidad entre Octubre y Noviembre de ese mismo año.

El motivo por el cual se ha elegido esta función es que, pese a que el error cuadrático medio o RMSE es ligeramente elevado (0,6519), dispone de un buen R^2 (0,8585), el mejor y más óptimo que se podría tener teniendo en cuenta la necesidad de que la función respete la tendencia alcista del momento, y no diverja en exceso de los diferentes precios existentes a lo largo de ella, ni se produzca *overfitting*⁸. Una función polinómica de primer grado, definida por la adición o sustracción de un número finito de términos de diferente grado, es una recta, una función de relativa sencillez, la cual dispone de dos coeficientes que auguran un 95% de confianza. (Steven C. Chapra, 2006)

⁸ Sobreajuste

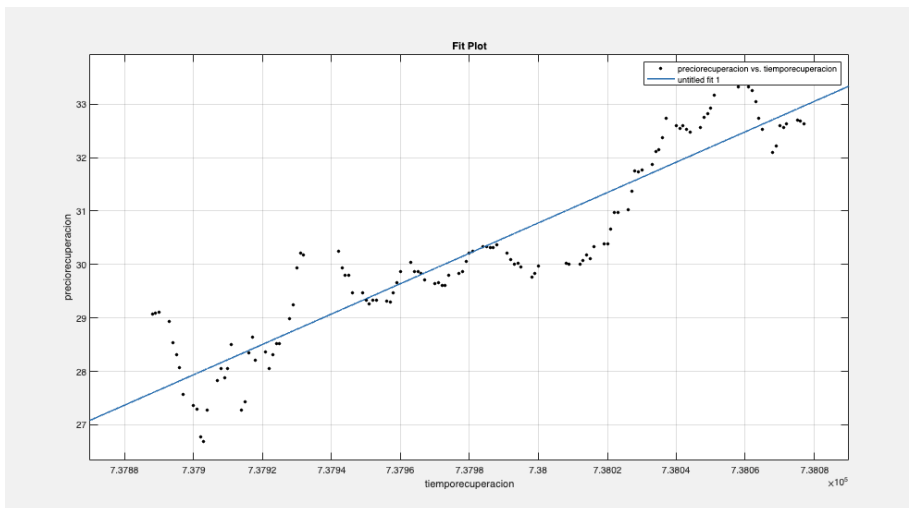


Figura 19: Elaboración propia con Curve Fitting Matlab. Función polinómica de primer grado.

La ecuación de esta función polinómica de primer grado será:

$$F(x)=p1*x+p2$$

Los coeficientes, con una confianza del 95%, son:

$$p1=1.599$$

$$p2=30.29$$

$$R\text{-Square: } 0.8585$$

$$RMSE: 0.6519$$

3.1.3. TERCER PERÍODO

El tercer período, que comprende casi la gran totalidad del año 2021, es un período complejo a pesar de ser un período con relativa estabilidad, dominado por una tendencia lateral. Esta tendencia, como bien se ha analizado en el primer capítulo, posee un leve componente alcista, pero la sucesión constante de diferentes y distanciados máximos y mínimos, hacen que sea la **serie de Fourier⁹ con 4 términos la función que mejor se ajusta a la realidad del mercado**, con un R^2 de 0,755, y un RMSE de tan solo 0,3674. Ciertamente es que el R^2 no es excesivamente elevado, pero dada la complejidad de este

⁹ Herramienta utilizada para el análisis de funciones periódicas mediante su descomposición en una suma infinita de funciones sinusoidales de mayor simpleza (como por ejemplo, combinaciones de cosenos y senos con frecuencias enteras)

período se observa que es la función más óptima, dando lugar a errores tan solo en el último tramo alcista del período, el cual no llega a cubrir de forma completa. Para funciones con mucha regularidad, como la descrita en este período, que a pesar de tener máximos y mínimos dispares se mantiene dentro de un canal, con relativa estabilidad, la aproximación mediante términos de la serie de Fourier es en su mayor parte, óptima (Cooley, J.W.)

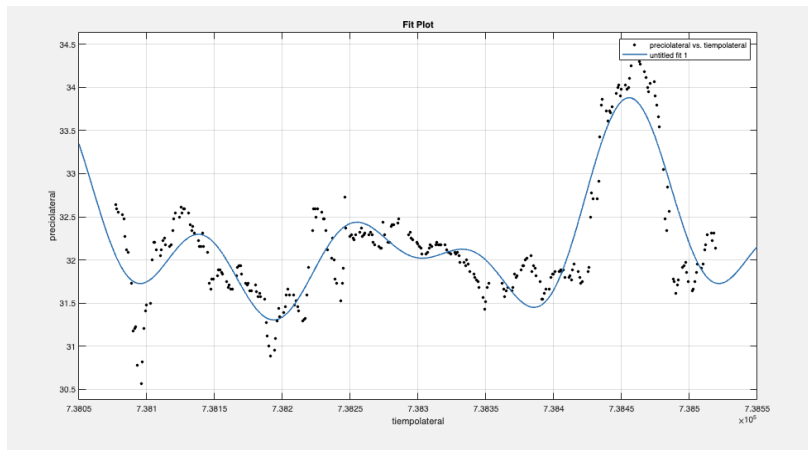


Figura 20: Elaboración propia con Curve Fitting Matlab. Serie de Fourier de 4 términos.

La ecuación de esta serie de Fourier de 4 términos será:

$$F(x)=a_0+a_1*\cos(x*w)+b_1*\text{sen}(x*w)+a_2*\cos(2*x*w)+b_2*\text{sen}(2*x*w)+a_3*\cos(3*x*w)+b_3*\text{sen}(3*x*w)+a_4*\cos(4*x*w)+b_4*\text{sen}(4*x*w)$$

Los coeficientes, con una confianza del 95%, son:

$$a_0=32.19$$

$$a_1=-0.3442$$

$$b_1=0.2583$$

$$a_2=0.394$$

$$b_2=-0.3507$$

$$a_3=0.2226$$

$$b_3=0.3086$$

$$a_4=-0.2859$$

$$b_4=-0.3407$$

$$w=0.01473$$

$$R\text{-Square: } 0,755$$

$$RMSE: 0.3674$$

3.1.4. CUARTO PERÍODO

En este período, transcurrido a principios del año 2022 en el cual tiene lugar la invasión rusa de Ucrania, la función que mejor se ajusta a la fuerte tendencia alcista experimentada, sería la función matemática de Gauss con dos términos, con un coeficiente de correlación múltiple de 0,9466. Esta función tiene extremadamente en cuenta los picos que se dan en la función para tratar de representarlos; la **función de Gauss** de tres términos representaba ligeramente de forma más óptima la función de datos, pero con una diferencia tan sutil que, debido a la complejidad añadida que supone representar una función de Gauss con un término a mayores, se ha determinado la de **dos términos** como la función idónea. Se diferencia perfectamente en la figura 21 la formación de la conocida como “Campana de Gauss”, dándose esta en el punto más elevado de la tendencia hasta la fecha, que coincide con el inicio de la invasión rusa de Ucrania.

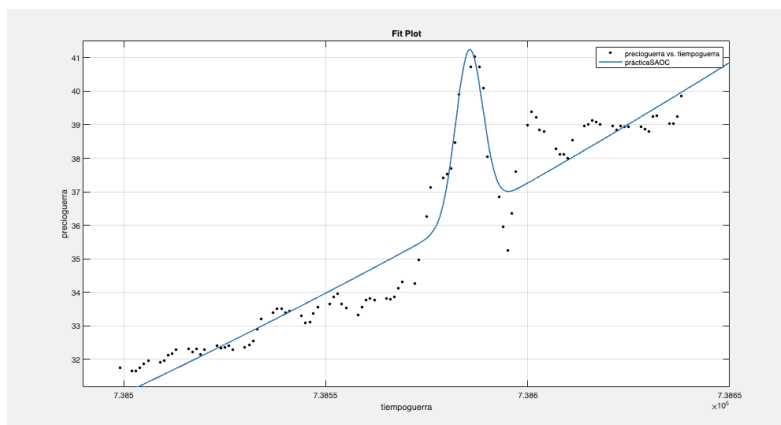


Figura 21: Elaboración propia con Curve Fitting Matlab. Función de Gauss de 2 términos.

La ecuación de esta función Gaussiana de 2 términos será:

$$F(x)=a1*\exp(-((x-b1)/c1)^2)+a2*\exp(-((x-b2)/c2)^2)$$

Los coeficientes, con una confianza del 95%, son:

$$a1=7.38e+15$$

$$b1=7.743e+05$$

$$c1=6219$$

$$a2=4.972$$

$$b2=7.386e+05$$

$$c2=4.739$$

$$R\text{-Square:}0.9466$$

$$RMSE:0.7182$$

A continuación, se mostrará en la figura 22 una **tabla resumen** con las diferentes funciones empleadas para cada período, y sus distintos ajustes.

Periodo	Tipo de función	Ajuste
Dic19-Mar20	Polinómica grado 3	0.915
Mar20-Nov20	Polinómica grado 1	0.8585
Nov20-Dic21	Fourier 4 términos	0.755
Dic21-May22	Gaussiana 2 términos	0.9466

Figura 22

3.2. MACHINE LEARNING

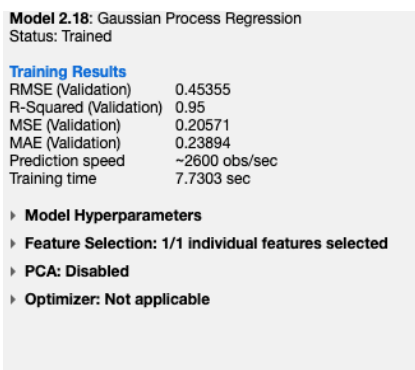
Dentro del ajuste funcional, y una vez resuelto el análisis de optimización de parámetros en funciones mediante Curve-Fitting, a continuación se procederá al análisis de tiempo y precio, mediante Machine Learning.

Machine Learning (ML) es una técnica para la analítica de datos, del ámbito de la inteligencia artificial (IA), consistente en la creación de sistemas para el aprendizaje y análisis automático. El sistema creado es un algoritmo, el cual procede a la revisión de datos y patrones pasados, tratando de **predecir comportamientos futuros**, lo que es su verdadero objetivo. Al aplicar ML al conjunto de datos del que se dispone (precio y tiempo), se deberán dividir los mismos en dos subconjuntos: datos de entrenamiento y datos de validación (*test set* y *validation set*). Con los primeros, se tratará de analizarlos mediante diversos modelos de aprendizaje automático, tratando de optimizarlos junto con una serie de diversos hiperparámetros y limitaciones, establecidos previamente. El objetivo de este denominado como entrenamiento, es similar al análisis realizado en la optimización de funciones mediante *curve-fitting*: tratar de encontrar el mejor modelo construido a partir de estos datos de de entrenamiento. No sólo es necesario esto, sino también testear y validar el modelo construido para asegurarnos de que es el idóneo.

De cara a la realización de estas funciones, se utilizará otra aplicación del programa Matlab, en este caso *Regression Learning*. Mediante esta aplicación se podrá proceder a la regresión lineal¹⁰, para la generación de predicciones, la comparación de ajustes de modelos lineales evaluando la bondad del ajuste, y la detección de valores atípicos. Se procederá a la introducción de diferentes modelos, los cuales el programa entrenará con métodos de *Machine Learning*, indicándonos posteriormente el modelo con mayor bondad del ajuste. Tras el entrenamiento, se procederá a la validación, la cual se efectuará mediante el método *Cross-Validation* o validación cruzada¹¹.

3.2.1. PRIMER PERÍODO

El primer período, perteneciente a la ya conocida salida a Bolsa y hasta el inicio de la crisis de COVID, sigue una clara tendencia bajista. En ella, y utilizando *Regression Learning* mediante *Cross-Validation*, el modelo que mejor se ajusta es un proceso de regresión Gaussiana; tras probar y entrenar diferentes modelos, este obtiene una mayor bondad del ajuste comparado con los demás, seguido tan solo de cerca, con un **R cuadrado de 0,95** y el menor RMSE¹² (0,4535) de todos los diferentes modelos, por las redes neuronales (*Wide Neural Network*).



Model 2.18: Gaussian Process Regression	
Status: Trained	
Training Results	
RMSE (Validation)	0.45355
R-Squared (Validation)	0.95
MSE (Validation)	0.20571
MAE (Validation)	0.23894
Prediction speed	~2600 obs/sec
Training time	7.7303 sec
▶ Model Hyperparameters	
▶ Feature Selection: 1/1 individual features selected	
▶ PCA: Disabled	
▶ Optimizer: Not applicable	

Figura 23: Elaboración propia con *Regression Learning Matlab*. Selección del modelo más óptimo. Regresión de Gauss (*Exponential GPR*).

¹⁰ Técnica de modelado estadístico, empleada para la descripción de una variable de respuesta continua como una función de variables predictoras.

¹¹ Técnica para la evaluación de modelos de ML, consistente en el entrenamiento de varios modelos en subconjuntos de datos de entrada disponibles, evaluándolos en el subconjunto complementario de los datos. El proceso se repite durante hasta en 5 ocasiones, utilizando en cada una de ellas datos diferentes.

¹² Root Mean Squared Error

A continuación se procederá al análisis de las diferentes variables especificadas en la gráfica anterior, en el apartado de *Training Results*: en primer lugar, el RMSE, siempre positivo, el cual se buscará siempre que sea lo menor (lo más cercano a 0) posible; a continuación *R-Squared* o R cuadrado, idóneo cuanto más próximo a 1 (mayor bondad del ajuste) , siendo siempre inferior a esta cifra y normalmente superior a 0, aunque no siempre, pudiendo ser negativo; MSE o *Mean Square Error*, lo que es el cuadrado del RMSE, buscándose siempre valores inferiores a este; MAE o *Mean Absolute Error*, el cual siempre es positivo y similar al RMSE, con la diferencia de poseer una menor sensibilidad a los *outliers* o valores residuales. De estas dos últimas variables, se tienden a buscar también los valores más pequeños. Por último, se sitúan los indicadores de *Prediction Speed* y *Training Time*, los cuales muestran el tiempo de predicción y entrenamiento del modelo mediante el sistema de ML.

Se observa que el modelo con el mejor ajuste se obtiene mediante una ***Exponential GPR*** o lo que es lo mismo, un proceso exponencial de regresión Gaussiana. Este modelo es una expresión de espacio funcional de un modelo de regresión de función, de base radial, y con infinitas funciones de base; reemplaza los productos internos de las funciones básicas, pero con núcleos más lentos que el GPR exponencial al cuadrado, siendo la diferencia entre ambos que la distancia euclidiana¹³ no está elevada al cuadrado. El GPR exponencial maneja bien las funciones uniformes con errores mínimos, aunque con discontinuidades tiende a disminuir su eficacia; es un ejemplo la función representada en este período de tiempo. En la gráfica observada a continuación se analizará la eficacia de este modelo, estando marcados en azul los puntos originales de la confluencia del precio en el espacio de tiempo perteneciente a este período, y en tono amarillento se muestran los predichos mediante el proceso exponencial de regresión Gaussiana (Zhang, Nian; Leatham, Keenan).

¹³ Distancia ordinaria entre dos puntos de un espacio euclídeo, deducida a partir del Teorema de Pitágoras.

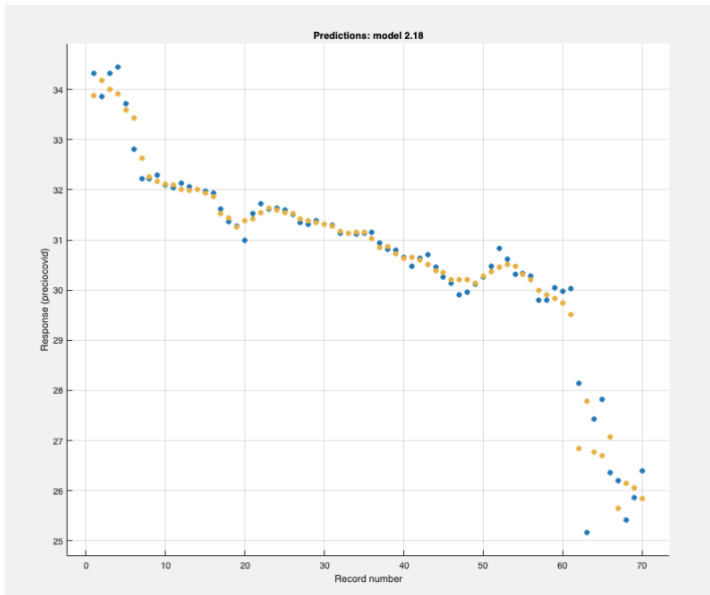


Figura 24: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Response plot, diferencia entre la función original y el modelo de ML.

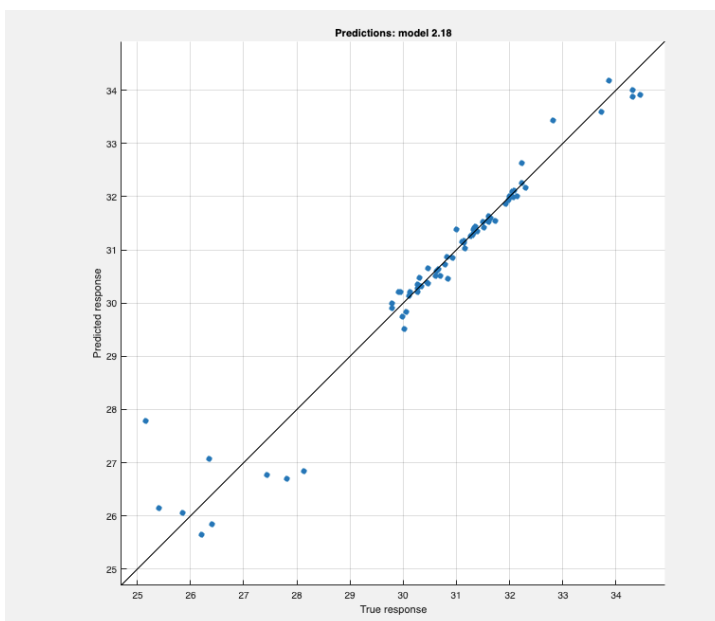


Figura 25: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Validation predicted vs actual plot.

En la figura 25, se puede observar la diferencia real entre el gráfico predicho y los valores verdaderos, usado para comprobar el desarrollo y comportamiento del modelo, y entender así cómo el modelo de regresión hace diferentes predicciones para diferentes valores de respuestas. En esta gráfica, vemos las observaciones de los diferentes precios como puntos azulados, contra la respuesta predicha por el modelo, la cual está representada por la recta. **Cuanto más óptimo sea el modelo, más cercanos estarán los puntos a la diagonal**, siendo el modelo perfecto, con ajuste de $R^2=1$, aquel en el que los todos los

puntos estén contenidos en la diagonal. La distancia vertical desde la diagonal a cualquiera de los puntos, es el error de la predicción para ese preciso nivel de respuesta; un buen modelo es aquel con errores pequeños, con los puntos pertenecientes a las observaciones dispersos simétricamente alrededor de la línea diagonal, como se puede observar en el término intermedio de este modelo, donde los puntos están más próximos a la recta.

3.2.2. SEGUNDO PERÍODO

El modelo escogido mediante ML para este período es de nuevo una regresión Gaussiana, aunque esta vez de mayor **R cuadrado (0,99)**, un modelo muy preciso), y mucho menor RMSE, rondando esta vez el 0,18.

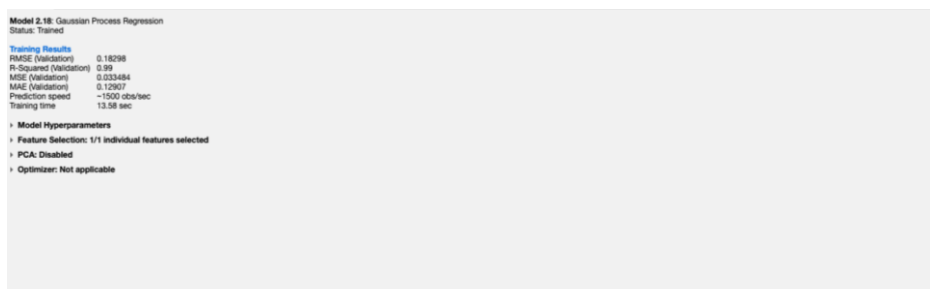


Figura 26: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Selección del modelo más óptimo. Regresión de Gauss (Exponential GPR).

En cuanto al *response plot*, se observa que en este período y mediante la utilización del modelo descrito anteriormente, las coincidencias entre los valores reales y los predichos son múltiples, siendo ambos prácticamente idénticos.

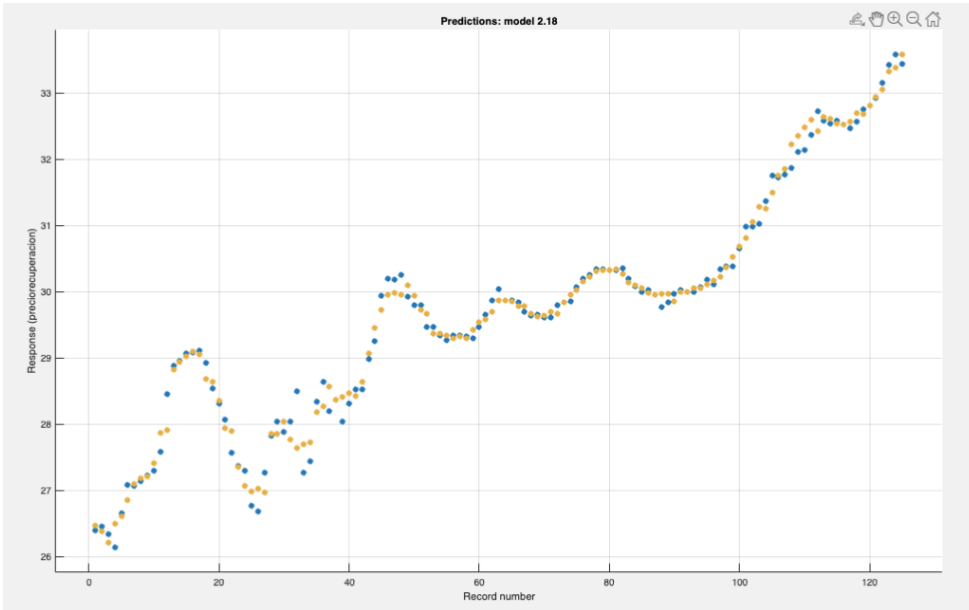


Figura 27: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Response plot, diferencia entre la función original y el modelo de ML.

Este modelo mejora a grandes rasgos el modelo elegido para su ajuste en la parte anterior de este capítulo, la función polinómica de grado 1.

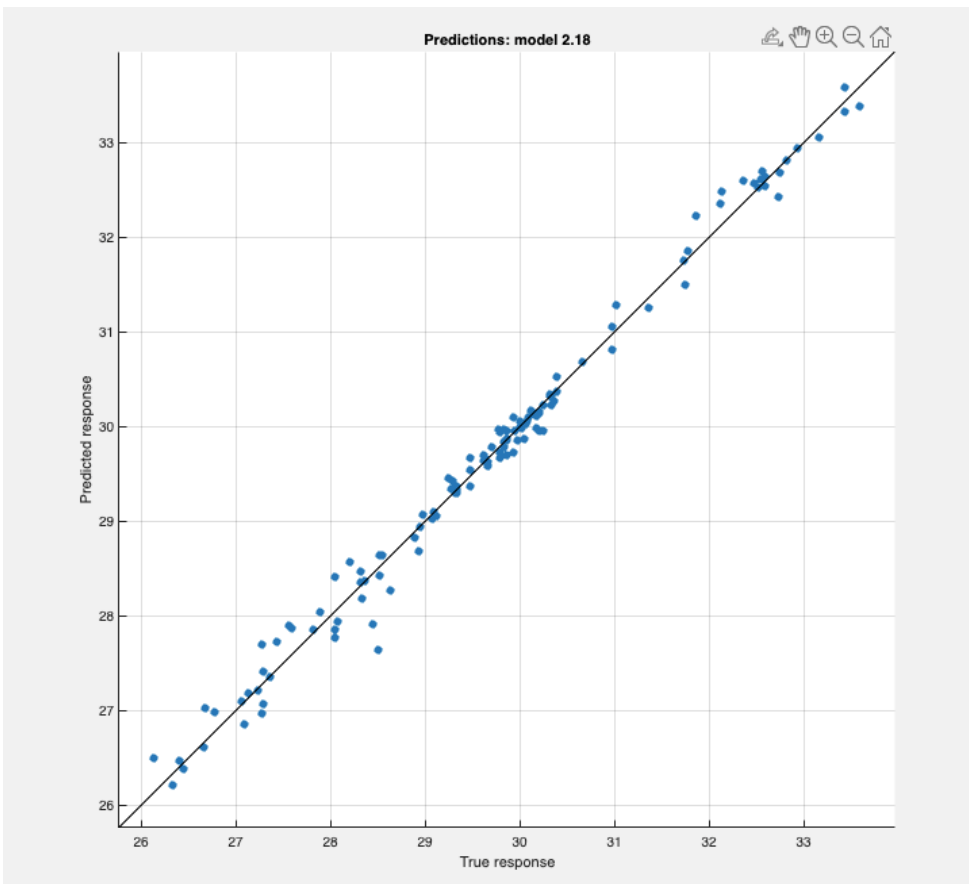


Figura 28: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Validation predicted vs actual plot.

3.2.3. TERCER PERÍODO

El modelo elegido por el programa de Machine Learning para el tercer período de este análisis vuelve a ser de nuevo, un **GPR**; se ve claramente cómo esta función es la que mejor está funcionando, además en este caso con un R^2 muy elevado, rondando el 1 (0,98) y un MSE y MAE muy cercanos a 0.

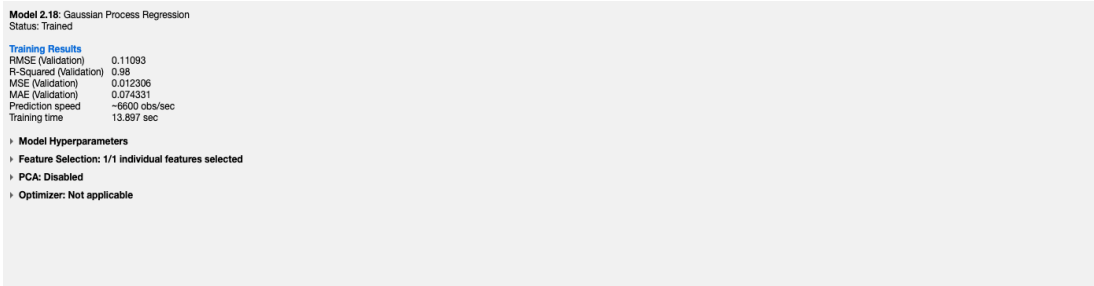


Figura 29: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Selección del modelo más óptimo. Regresión de Gauss (Exponential GPR).

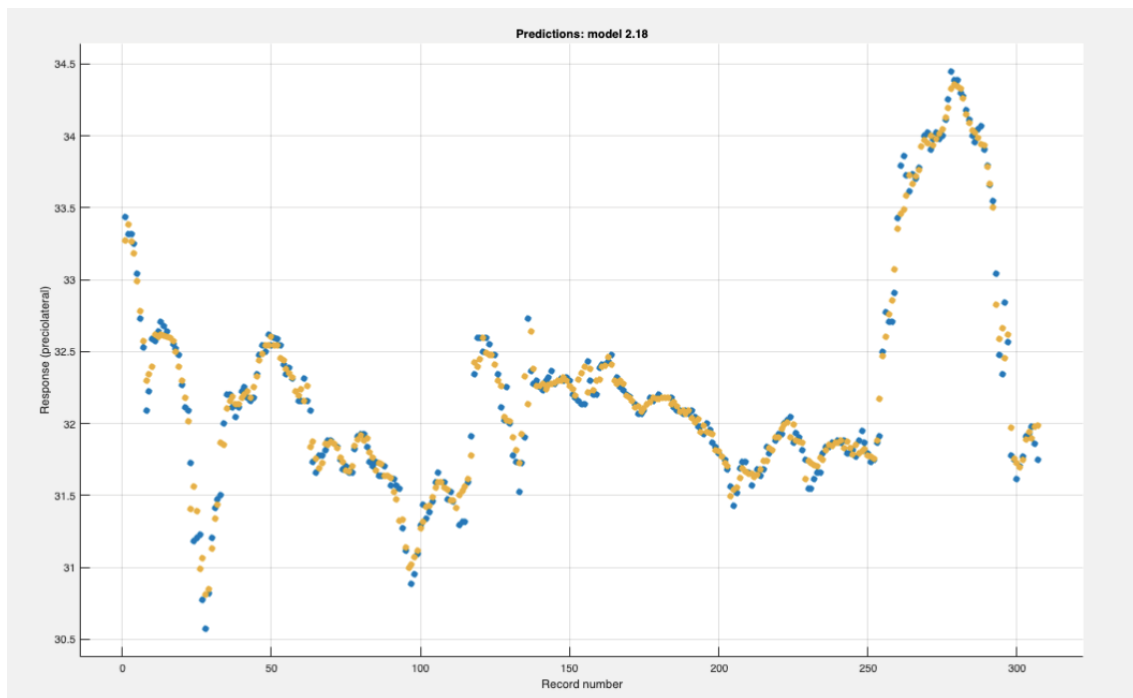


Figura 30: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Response plot, diferencia entre la función original y el modelo de ML.

Se puede observar cómo el modelo predicho es extremadamente similar a los valores reales.

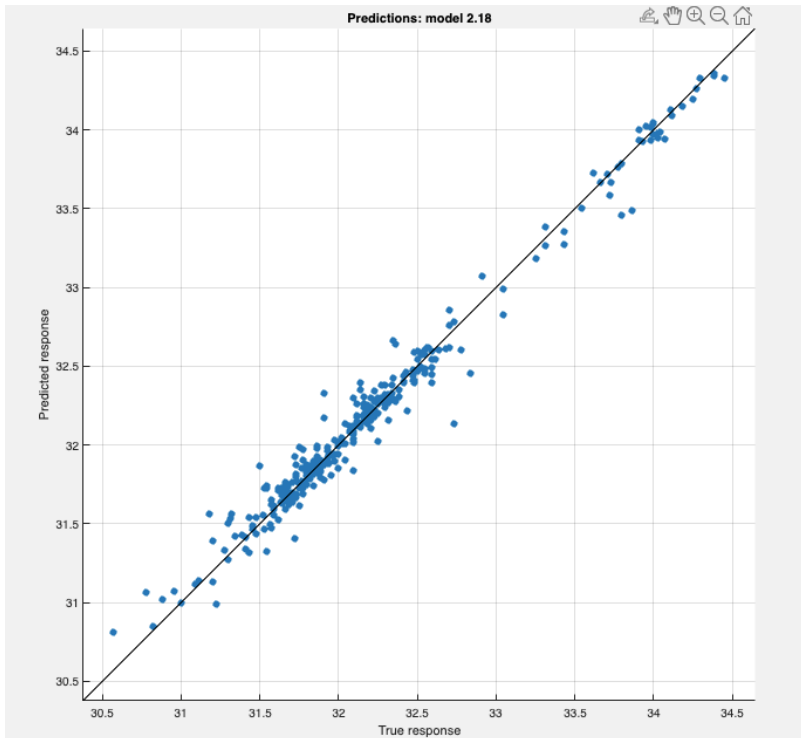


Figura 31: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Validation predicted vs actual plot.

3.2.4. CUARTO PERÍODO

Finalmente, se llega al último período de los 4 a analizar, en el que, de nuevo y por última vez, el GPR es el modelo de mayor bondad de ajuste, con un R cuadrado de 0,99.

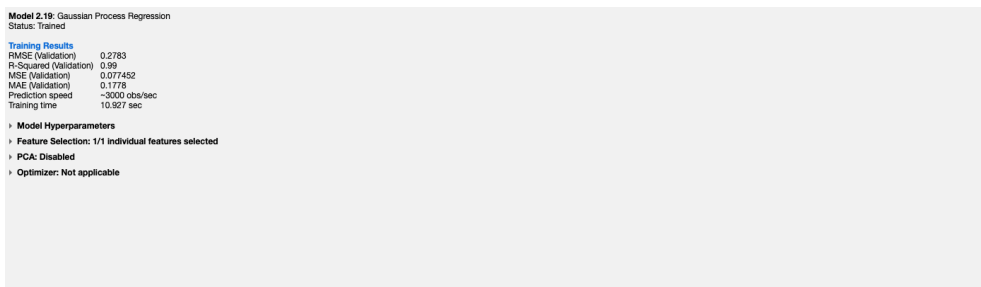


Figura 32: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Selección del modelo más óptimo. Regresión de Gauss (Exponential GPR).

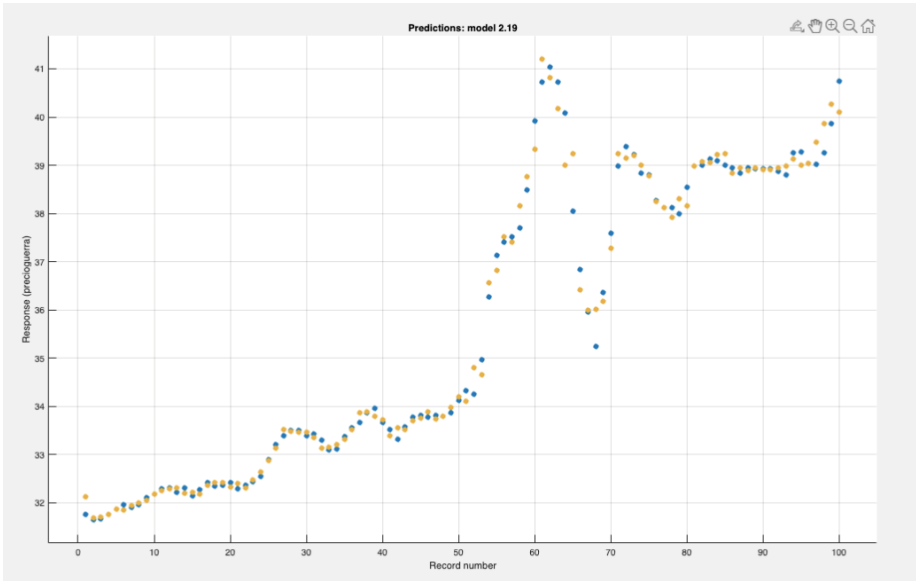


Figura 33: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Response plot, diferencia entre la función original y el modelo de ML.

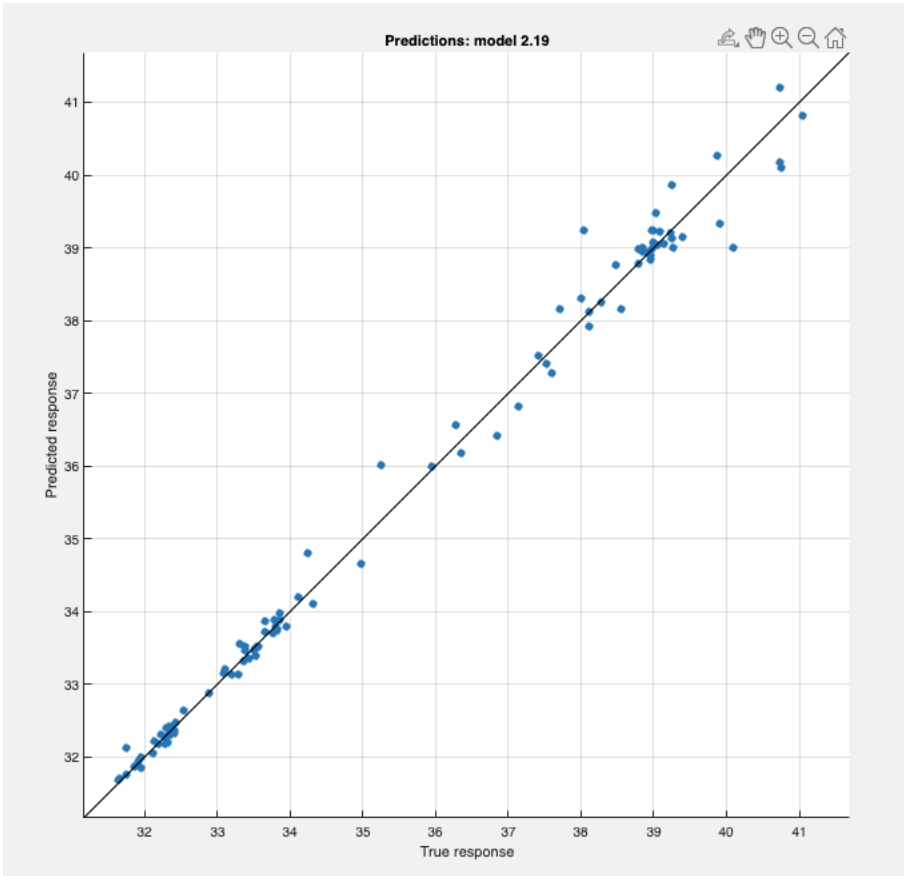


Figura 34: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Validation predicted vs actual plot.

3.3.SERIES TEMPORALES

Una serie temporal se trata de una secuencia de “n” observaciones o datos, dispuestas ordenadamente y equidistantes en términos cronológicos sobre una o varias características. (Mauricio, 2007) Las series permiten identificar y validar el comportamiento habitual de los datos, en búsqueda de un patrón para poder así predecir el desarrollo que esos mismos datos tendrán en un futuro cercano, contando con que las condiciones del mercado no sean excesivamente cambiantes y no se den fenómenos poco habituales (Priego, Martín).

Lo que se pretende mediante el análisis de series temporales es describir su evolución y relaciones entre sus componentes y prever cómo será la evolución a futuro de dicha serie. Destacan por sus tres componentes: en primer lugar, la tendencia, de la que ya se ha hablado anteriormente, siendo el movimiento temporal a largo plazo de la serie; la estacionalidad, definida como la periodicidad de la serie que se repite a lo largo del tiempo; y por último un componente aleatorio o *random fluctuation*, cuyas variables e rigen por el azar, que es lo que se tratará de modelizar para el análisis de la serie temporal, deshaciéndose este análisis de los dos primeros componentes. Para el análisis de la serie temporal, esta ha de ser estacionaria, es decir, que la media y la varianza de la serie sean constantes, y que la tendencia y la estacionalidad se eliminen, quedando por lo tanto el componente aleatorio.

3.3.1. SERIES TEMPORALES CON TSAF

A continuación, se procederá a analizar las series temporales, pero, esta vez, sin dividir el estudio en 4 períodos, sino **analizando el período completo** (Diciembre 2019-Mayo 2022), con el objetivo de **predecir futuros movimientos de las cotizaciones de Aramco**.

Para ello, se empleará la herramienta “TSAF” de Matlab (*Temporal Series Analysis and Forecast*). Al emplear este programa, se observa que hay varias gráficas, cada una indicando un aspecto completamente distinto: la gráfica de señal, en la parte superior izquierda, representa los precios en el período seleccionado; la tabla de frecuencias, en la parte superior derecha; y por último la autocorrelación de muestras, en la parte inferior.

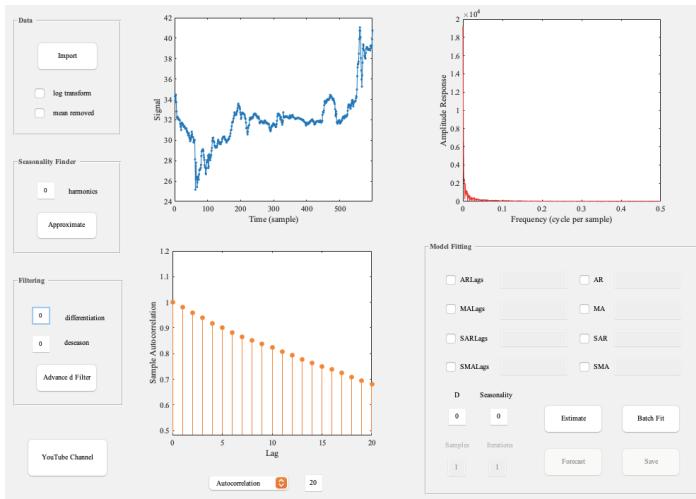


Figura 35: Elaboración propia con TSAF Matlab.

Lo primero que se debe realizar para proceder al análisis es eliminar los dos primeros elementos y componentes de las series temporales de los que se hablaba anteriormente. El primero de ellos es la **tendencia, la cual se eliminará** mediante la adicción de un grado de diferenciación (pudiéndose observar ahora el cambio en la gráfica de señal, que ya no muestra ninguna tendencia). A continuación, se seleccionarán y contarán los puntos más elevados en el gráfico de frecuencia y amplitud, y se introducirá el número de picos en “*harmonics*”; en este caso, se introduce el número 3, pues son los mayores máximos. El programa indicará el mínimo común múltiplo entre estos puntos, siendo en este caso de 45, número que se utilizará para **eliminar la estacionalidad**.

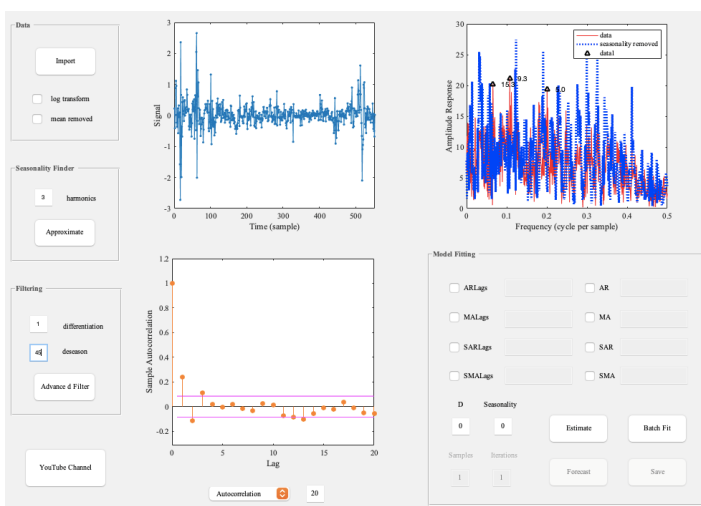


Figura 36: Elaboración propia con TSAF Matlab.

A continuación, se procederá una vez eliminadas del modelo la tendencia y estacionalidad, al análisis y modelización del componente aleatorio. Aquí se estudiará la autocorrelación y la autocorrelación parcial, en sus coeficientes AR (*Auto-regression*) y MA (*Moving-Average*), las cuales se ajustarán de cara a la predicción de los mejores modelos posibles.

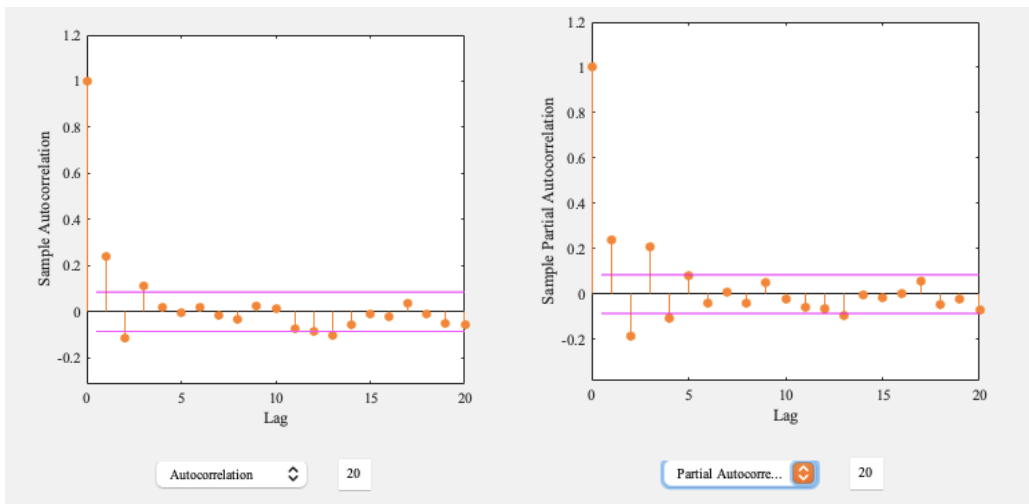


Figura 37: Elaboración propia con TSAF Matlab.

En este caso se observa cómo en la correlación parcial de la serie, hay cinco puntos que son de importancia relevante o significativa, pues se encuentra excesivamente por fuera del campo comprendido entre las bandas (cruzan la línea de significación), por lo que el coeficiente del componente autorregresivo es 5. Es por ello que, al modelizar, se deben introducir estos valores; en el gráfico de correlación de la serie, hay 4 puntos que cruzan la línea de significación, por lo que el coeficiente del componente MA es 4. Esto resulta en un modelo ARMA (5,4).

Una vez realizado el modelo, se procede a realizar las predicciones o forecast, para el cual se han elegido 4 modelos diferentes que el programa generará, a lo largo de 50 itinerancias. Con esto se tratará de predecir la continuidad de la serie temporal en los próximos 50 períodos, con el mínimo error.

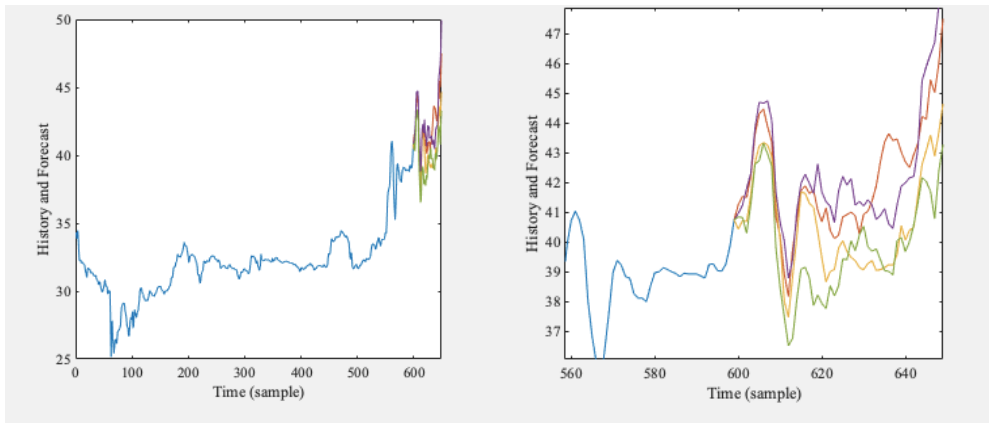


Figura 38: Elaboración propia con TSAF Matlab. Se muestran los 4 modelos diferentes para el forecast de la serie temporal. Se aprecia que los 4 tienden a continuar la tendencia alcista que se venía experimentando.

Una vez predicho el modelo, se puede observar en la anterior gráfica el tramo en azul de los datos históricos, y a continuación las predicciones que hace el modelo de la serie temporal, con los componentes de los que ya se ha hablado con anterioridad.

3.3.2. SERIES TEMPORALES CON PYTHON

El objetivo será mejorar las series temporales anteriores, esta vez utilizando el programa Python con un modelo autorregresivo integrado de media móvil o ARIMA, que es un modelo estadístico utilizado con el fin de **encontrar patrones para una predicción hacia el futuro**, mediante variaciones y regresiones de datos estadísticos. Este modelo precisa identificar los diferentes coeficientes los números de regresiones que serán empleados; esto lo realizará el propio programa Python, por eso se llamará a este modelo Auto-Arima.

El modelaje de este Arima se ha llevado a cabo a través de la aplicación Python, concretamente las gráficas en las que se visualice son a través de la aplicación Anaconda Navigator, desde su extensión Jupiter Notebook. El primer paso a realizar es importar los paquetes necesarios para el modelaje de la serie temporal.

A continuación, se dividirá el modelo en un período de entrenamiento (train) y otro de prueba (test), en el que se han incluido los últimos 99 períodos. Esto ha sido con el objetivo de visualizar la diferencia en el comienzo de la última tendencia alcista, influenciada en su mayor parte por el inicio del conflicto en Ucrania. En la siguiente

gráfica se muestra la evolución del precio durante los últimos 99 períodos, tras la división en datos de train y datos de test.

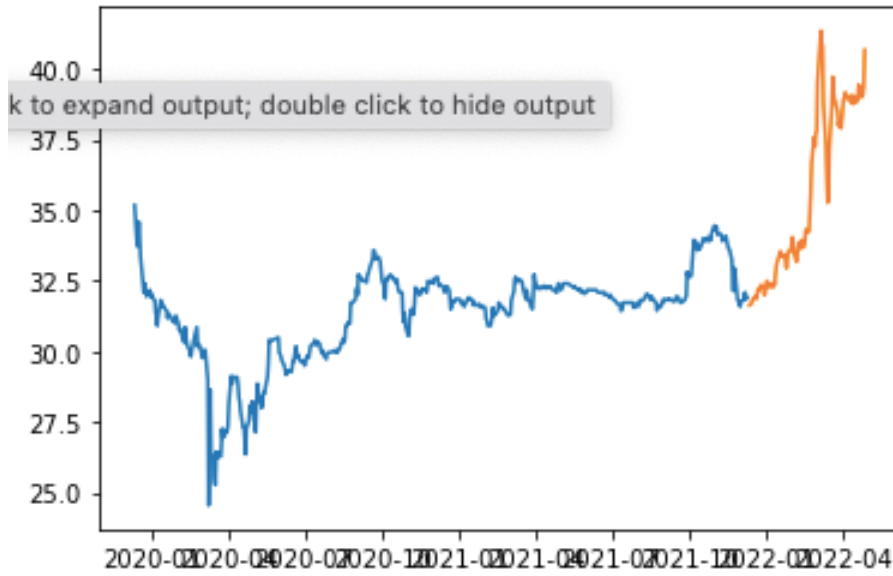


Figura 39:: Elaboración propia con Phytton.

Tras entrenar los datos, se comienza con el modelaje de ARIMA. Tras esto, se obtiene el siguiente modelo, mostrado en la figura 43:

SARIMAX Results

Dep. Variable:	y	No. Observations:	500
Model:	SARIMAX(2, 1, 1)x(4, 1, 1, 12)	Log Likelihood:	-192.970
Date:	Wed, 01 Jun 2022	AIC:	403.940
Time:	15:44:25	BIC:	441.635
Seasons:	0	HQIC:	418.748
			-500
Covariance Type:	opg		

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
ar.L1	-0.7360	0.044	-16.585	0.000	-0.823	-0.649
ar.L2	-0.2873	0.027	-10.511	0.000	-0.341	-0.234
ma.L1	0.7803	0.046	16.860	0.000	0.690	0.871
ar.S.L12	-0.1249	0.049	-2.533	0.011	-0.221	-0.028
ar.S.L24	-0.1257	0.068	-1.843	0.065	-0.259	0.008
ar.S.L36	-0.0580	0.060	-0.962	0.336	-0.176	0.060
ar.S.L48	-0.0589	0.048	-1.222	0.222	-0.153	0.036
ma.S.L12	-0.8711	0.058	-15.077	0.000	-0.984	-0.758
sigma2	0.1231	0.004	29.523	0.000	0.115	0.131

Ljung-Box (L1) (Q):	0.10	Jarque-Bera (JB):	34228.63
Prob(Q):	0.75	Prob(JB):	0.00
Heteroskedasticity (H):	0.12	Skew:	-2.74
Prob(H) (two-sided):	0.00	Kurtosis:	43.70

Figura 40: Elaboración propia con Phytton.

Las predicciones resultantes del entrenamiento de datos y la consecución del modelo, se visualizan en la figura 44.



Figura 41: Elaboración propia con Phytton.

Se puede observar la **gran diferencia entre el modelo predicho, y los valores reales de los precios de Saudi Aramco**; no había manera posible de que la predicción tomara en cuenta que un elemento exógeno iba a afectar a las cotizaciones justo en esas fechas; este elemento exógeno es el inicio de la Guerra de Ucrania. La reactivación de la demanda con la recuperación tras la pandemia del COVID-19, unido a las políticas de recortes de producción de los países de la OPEP, ya estaban provocando una tendencia alcista en los precios del petróleo, lo que afecta directamente a las cotizaciones de Saudi Aramco. Pero con el estallido del conflicto de invasión rusa a Ucrania en Febrero de 2022, comienzan las sanciones y embargos a Rusia, dejando progresivamente los países europeos y Estados Unidos de importar petróleo a este país, o bien poniendo complicaciones a las importaciones. El aumento de la demanda, unido a la reducción de la oferta todavía más (estando Rusia, uno de los mayores productores del mundo, fuera de juego), dispara los precios del petróleo todavía más. Por si esto fuera poco, Saudi Aramco, a través de Arabia Saudi, miembro fundador de la OPEP, adquiere todavía más importancia mundial, al tener que cubrir en muchas ocasiones la vacante de oferta que Rusia deja; esto hace que las cotizaciones de Saudi Aramco suban exponencialmente. Según se observa en el modelo predicho, esta tendencia tan alcista, sin este elemento exógeno, en principio no debería de haberse producido.

4. CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DEL PRECIO DEPENDIENDO DE OTROS FACTORES

4.1. EL PRECIO DEL PETRÓLEO

En este capítulo, se procederá al análisis del precio y de las cotizaciones de Saudi Aramco dependiendo de diferentes variables, desde distintos activos, índices bursátiles o cotizaciones de otras empresas.

Antes de comenzar con este análisis, se debe entender que **lo que principalmente influye en que el precio de las acciones de Aramco suba o baje, es el precio del producto que comercializa, en este caso, principalmente petróleo y sus derivados**. Por ende, los factores que influyan en el precio del petróleo son los que mayor influencia tendrán sobre las cotizaciones de Saudi Aramco. En los últimos meses, y no solamente a causa del conflicto en Ucrania, se ha experimentado a nivel global una subida drástica en los precios del petróleo, que consecuentemente ha supuesto una subida masiva de los precios de los carburantes. Esto se puede entender analizando diferentes motivos:

4.1.1. Reactivación de la demanda y control de la oferta

Como cualquier producto y activo, el precio del petróleo depende mayoritariamente de la relación entre la oferta y la demanda; a mayor demanda y menor oferta, mayor precio. (Giordano, 2002). A causa del inicio de la pandemia de COVID-19, el mundo y la economía se paralizaron, y con la pausa industrial, el inicio de los confinamientos y el cese y control de los desplazamientos, la demanda de petróleo se derrumbó, produciéndose la crisis más importante que ha tenido que afrontar la industria petrolera en toda su historia y a nivel global, llegando incluso el precio del barril de crudo a alcanzar valores negativos en el mercado estadounidense. La OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) inició entonces una estrategia de recortes de producción para minimizar el impacto del derrumbe de la demanda sobre el precio, e intentar recuperarlo, teniendo en cuenta también a países que no eran miembros de la OPEP; sin embargo, algunos de ellos como Rusia, rechazaron estos recortes de producción, provocando entonces una sobreoferta que hundió todavía más el precio del petróleo. Además, Arabia Saudi inició una guerra de precios con la propia Rusia, lo que no contribuyó en absoluto al equilibrio del mercado.

Una vez levantadas las restricciones y volviendo la economía a su ritmo habitual, a lo largo del año 2021, consecuentemente se produce una reactivación de la demanda, a la que los países productores no responden con un aumento de la oferta, sino que siguen la estrategia utilizada durante la pandemia del Covid: recortar la producción de petróleo, reducir las extracciones de crudo, las cuales se irán incrementando paulatinamente. Todo ello provoca un aumento exponencial en el precio del petróleo, ya que, a mayor demanda, pero continuidad en la oferta, el precio sube. Cabe destacar también el papel que han tenido en este aspecto algunos países no miembros de la OPEP, como Estados Unidos, han sido muy disciplinados y contenidos en la extracción de crudo, algo contrario a la estrategia que suelen seguir cuando se producen incrementos de la demanda.

4.1.2. Presiones inflacionarias

Las presiones inflacionarias y la subida del precio del petróleo son dos aspectos que se retroalimentan. En primer lugar, la rápida recuperación de una demanda que se encontraba totalmente hundida durante la pandemia, ha provocado la creación de una situación económica compleja en la que los problemas en la cadena de suministro y los aumentos de los precios de las materias primas juegan un papel fundamental en la escasez en determinados productos, lo que incrementa la inflación; de la misma manera, el incremento del precio del petróleo contribuye también a esa subida en la inflación, pues es una materia prima para muchos productos que luego se ponen a la venta, así como para los combustibles del transporte en la cadena de suministro: un aumento del precio del petróleo encarece los costes de transporte, a su vez encareciendo y contribuyendo a la subida del precio del producto final. Esto se debe a la necesidad del incremento de los márgenes por la subida de los costes, de cara a la permanencia en el negocio y a la supervivencia económica.

4.1.3. El cambio climático y las energías renovables

No solamente la producción de petróleo y la extracción de crudo se están limitando por las medidas establecidas desde la OPEP, sino que también están influidas por el mayor foco de las empresas petroleras en las energías renovables, las cuales no se agotan y juegan un papel fundamental en la lucha contra el calentamiento global y el cambio

climático; las compañías destinan más recursos a las energías renovables, en un intento por adaptarse a la transición energética y al ajuste del panorama energético tradicional internacional.

4.1.4. Tensiones y conflictos geopolíticos

Como el que se vive actualmente en Ucrania. La invasión rusa ha provocado una oleada de sanciones económicas internacionales, como los embargos y vetos a la importación de petróleo ruso; esto reduce todavía más la oferta, incrementando el precio. La incertidumbre también juega un papel relevante aquí. Se podría afirmar por lo tanto, que la guerra afecta de forma negativa a la producción de petróleo, pero de forma positiva a petroleras como Saudi Aramco, quienes ante los precios cada vez más elevados del petróleo, ven disparados sus beneficios y, ante la ausencia de las grandes petroleras rusas del mercado europeo y estadounidense, adquieren un papel todavía más relevante si cabe en la esfera global.

4.2.VARIABLES

Las variables utilizadas en este apartado para su comparación contra el precio de cotización de Saudi Aramco y su posterior análisis de correlación, son las siguientes:

4.2.1. Brent Oil

El petróleo Brent o Brent Crudo se trata de un tipo de crudo liviano dulce, extraído del Mar del Norte, que supone más de la mitad del total del suministro mundial de crudo comercializado, siendo la clasificación n comercial más importante del crudo, y un precio de referencia fundamental en las compras globales de petróleo. Los contratos de este activo cotizan en dólares estadounidenses, siendo el punto de referencia utilizado principalmente en Europa. De esto obtiene su relevancia como la inclusión de una de las variables que afectan a la cotización de Saudi Aramco. (Manescu, 2014)

4.2.2. Texas West Intermediate Oil Price (WTI)

Se trata del punto de referencia del precio del petróleo en el mercado estadounidense, siendo una corriente de crudo producida en el sur-sureste estadounidense y de mayor pesadez que el Brent.

4.2.3. Saudi Stock Exchange Tadawul

se trata de la única bolsa de valores de Arabia Saudita, y la principal entre todos los países que forman el Gulf Cooperation Council; su índice, el Tadawul All Share Index, es el principal índice que sigue el desempeño de las más de 200 empresas del país pertenecientes a la bolsa de valores. Tiene una gran correlación positiva con el mercado estadounidense. Con la mayor salida a bolsa de la historia, Saudi Aramco es, con mucha diferencia, la empresa de mayor capitalización bursátil de este índice, por lo que cabe deducir que las variaciones en ambas estarán ampliamente correlacionadas.

4.2.4. S&P500

Considerado como el índice bursátil más representativo de la situación realista del mercado, captura en sus 500 empresas aproximadamente el 80% de la capitalización de mercado de EEUU. Debido a que representa a la perfección la realidad del mercado estadounidense, a la que el precio del petróleo afecta enormemente (influyendo en esto Saudi Aramco, productora de el 10% del petróleo mundial), y debido también a que el mercado estadounidense tiene gran correlación con el mercado de valores de Tadawul, en el que Saudi Aramco influye enormemente, se ha tenido en cuenta esta variable para el análisis.

4.2.5. Dow Jones

Mide el desarrollo y desempeño de las 30 mayores sociedades anónimas cotizantes en el mercado estadounidense. El objetivo de analizar la correlación con índices bursátiles es evidente: algunas de las principales economías globales tienen una gran dependencia en el sector energético y en sus exportaciones del mismo; debido a este peso relevante del sector energético en los mercados de capitales, y en concreto del crudo, una caída del mismo arrastrará a las bolsas mundiales.

4.2.6. Euro Stoxx 50

Mide el desempeño de las 50 empresas con mayor capitalización bursátil de la Eurozona. Será utilizado para medir el impacto de los valores europeos en el precio del petróleo y de la cotización de Saudi Aramco, puesto que el mercado europeo es uno de los más importantes para la empresa del país del golfo.

4.2.7. Gold

El aumento o descenso del precio del petróleo tiene consecuencias geopolíticas, inflacionarias y también a nivel de inversión en otras materias primas, como en gran medida el oro, considerado un valor refugio. El hecho de ser precisamente, un valor refugio, hace que se beneficie de la aversión de los inversores ante situaciones de incertidumbre o de riesgo global; supone ser un elemento de protección mediante situaciones inflacionarias, que se suelen dar cuando el precio del petróleo sube, viéndose el oro beneficiado por esto, subiendo su precio ante la subida de la demanda. Además, la relación se estrecha ante el hecho de que el precio de ambos activos está denominado en dólares, por lo que en momentos de fluctuación de la divisa, la fluctuación de ambos suele ir en paralelo, con una relación directa en más de la mitad del tiempo, como se puede observar en la siguiente gráfica. De todas formas, la relación entre ambos puede cambiar, debido al papel de menor riesgo que asume el oro, mientras que el petróleo es el commodity de mayor volatilidad, debido a las grandes oscilaciones del precio provocadas por la demanda y las condiciones de producción y suministro.

4.2.8. Dólar

El precio del petróleo está establecido en dólares, por lo que tienen una estrecha relación. Cuando la divisa incrementa su valor, los precios del petróleo se reducen, pues se encarece el precio que los inversores extranjeros deben pagar por adquirirlo, provocando una reducción de la demanda. El efecto contrario se produce cuando el dólar se deprecia.

Cabe destacar que, de todas estas variables, se cogerán varios aspectos de cada una de ellas para su análisis: a parte del precio, esencial en todas ellas pues lo que se quiere observar es su correlación con el precio de las cotizaciones de Saudi Aramco, se seleccionará también el volumen, el % de variación y las velas de los precios de cada una de las variables, para el análisis de correlación.

4.3.FEATURE SELECTION

Una vez escogidas y detalladas las variables con las que se va a trabajar, es momento de comenzar con su análisis, para el cual se utilizará el programa empleado anteriormente en otros capítulos: Matlab. Dentro de este programa, se utilizarán algoritmos de feature selection (selección de características), dentro de Statistics and Machine Learning Toolbox; la selección de características reduce la dimensionalidad de los datos, seleccionando solamente un subconjunto de variables predictoras determinado, de cara a que la creación del modelo sea lo más óptima y eficiente posible. Además, **proporciona predictores más rápidos y rentables, así como una ayuda a la comprensión sobre cómo se generan los datos**. Este modelo estará sujeto a restricciones, como por ejemplo las funciones requeridas y excluidas y el tamaño del subconjunto; en cuanto a lo último, cabe destacar que el uso de demasiadas funciones y variables puede perjudicar al rendimiento del modelo, por lo que para este solamente se han de tener en cuenta aquellas variables que son relevantes e influyen sobre la variable de respuestas.

La relevancia de las variables se observa mediante el análisis de diferentes funciones mediante Matlab y el paquete de feature selection. En él, se utilizarán principalmente dos funciones: *fsrftest* y *fscchi2*. Si tan solo se efectuara un análisis de la correlación entre los precios de las variables, los resultados serían los siguientes:

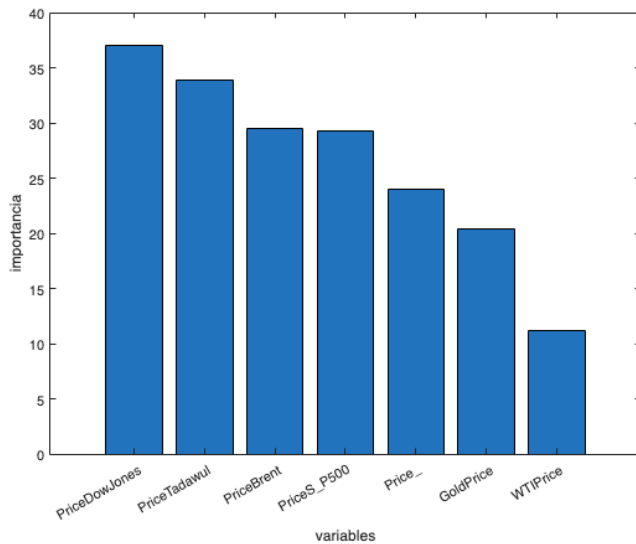


Figura 42: Elaboración propia con Feature Selection Matlab, con la función fscchi2. Orden de importancia de los precios de las variables, en función de su correlación con el precio de Aramco

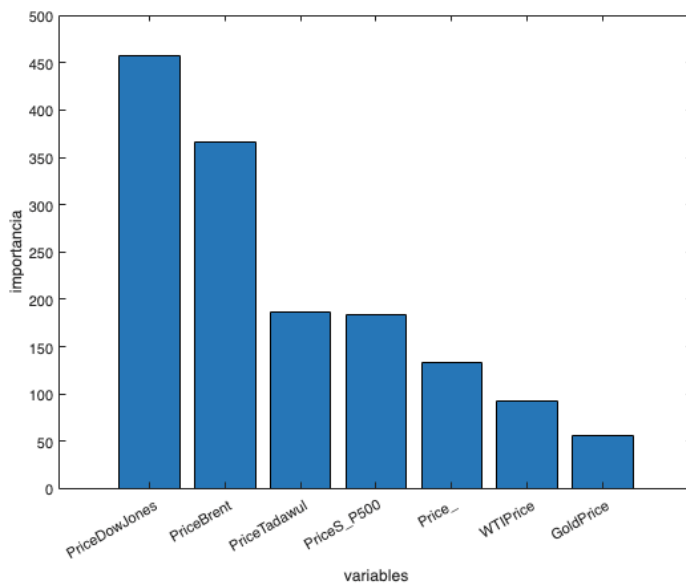


Figura 43: Elaboración propia con Feature Selection Matlab, con la función fsrftest. Orden de importancia de los precios de las variables, en función de su correlación con el precio de Aramco

Se observa que, al analizar solamente la correlación de los precios, ambas funciones nos ofrecen unos resultados muy similares en el orden de importancia de las variables, siendo la primera el precio del índice Dow Jones, seguida o bien por el Brent o por el Tadawul. Ambas ponen en los últimos lugares a los precios del dólar, oro y WTI, lo cual no indica que no influyan directamente en el precio de Aramco, sino que su fuerza de correlación es menor. Pese a que son similares en el orden de importancia, se observa cómo la función **chi cuadrado pondera con una cantidad de importancia parecida todas las variables,**

mientras que el F-Test destaca especialmente dos, que son el Dow Jones y el petróleo Brent, cuya importancia en términos cuantitativos destaca por encima del resto; esto es debido a la mayor tolerancia y sensibilidad de la función chi cuadrado.

De cara a la búsqueda de la mayor correlación y el mejor modelo, este mismo análisis debe incluir también el resto de variables mencionadas anteriormente a parte del precio, tales como el volumen, el % de variación y las velas. Todo esto se conseguirá también mediante la herramienta *Feature Selection* de Matlab.

La primera, *fsrftest*, se trata de una función de regresión utilizada para variables categóricas y continuas, que examina la importancia de cada variable individualmente mediante la utilización de una prueba F^{14} para luego clasificarlas usando los p-valores de esa misma prueba F, de mayor a menor correlación en función del p-valor.

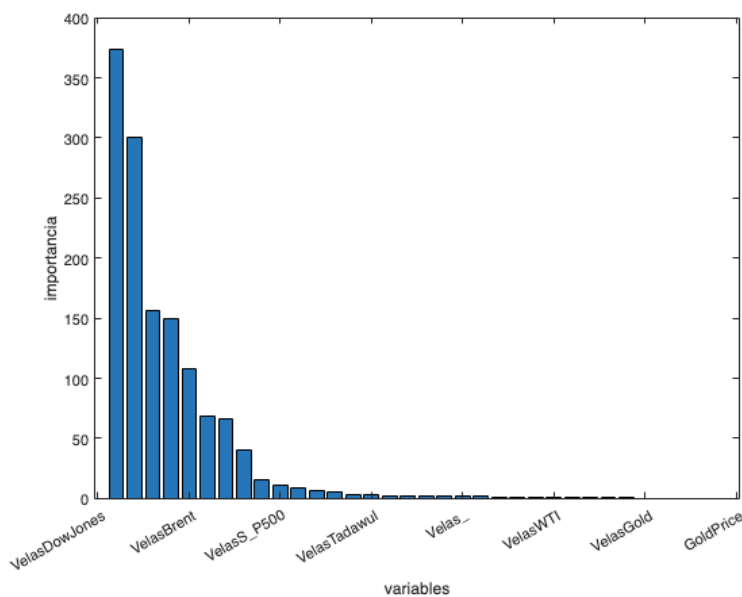


Figura 44: Elaboración propia con Matlab. Clasificación de variables con *fsrftest*.

Como se observa en la figura 44, hay 8 variables que esta función clasifica como las de mayor relevancia, con bastante diferencia con respecto a las demás. Son, en orden de mayor a menor importancia, las que se muestran en la siguiente tabla.

¹⁴ Test que se utiliza para evaluar la capacidad explicativa de un subconjunto de variables independientes sobre otra variable.

fsrftest								
Columna1	1	2	3	4	5	6	7	8
VARIABLE	Velas Aramc	Velas Dow Jc	Velas Brent	Velas SP500	Vela Tadawul	Velas \$	Velas WTI	Price Gold
SCORE	373.50	300.39	156.41	149.38	108.12	68.03	66.35	40.77

Figura 45: Elaboración propia con Excel, a partir de los datos obtenidos con Matlab.

En cuanto a la segunda, `fscchi2`, se trata de una función de clasificación, también tanto para variables continuas como categóricas; lo que examina es la independencia de cada una de las variables seleccionadas con respecto a la variable de respuesta (en este caso, precio de las acciones de Saudi Aramco). Esto lo realiza mediante pruebas de Chi-cuadrado individuales, para clasificar a continuación esas características utilizando la información proveniente de los valores p de las pruebas de Chi-cuadrado¹⁵.

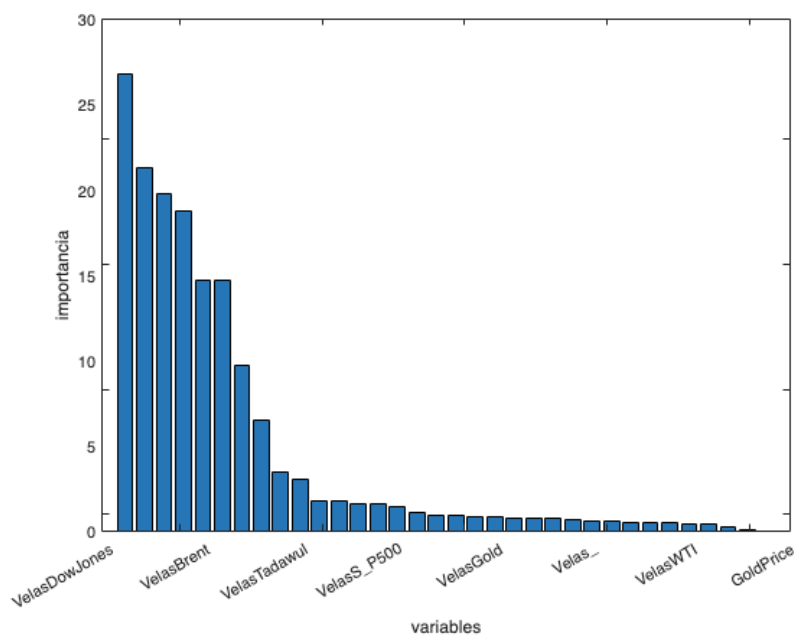


Figura 46: Elaboración propia con Matlab. Clasificación de variables con `fscchi2`.

Como se observa en la figura 46, hay 8 variables que esta función clasifica como las de mayor relevancia, con bastante diferencia con respecto a las demás. Son, en orden de mayor a menor importancia, las que se muestran en la figura 50.

¹⁵ Contrasta frecuencias que se observan con frecuencias esperadas, siguiendo la hipótesis nula.

fscchi2								
Columna1	1	2	3	4	5	6	7	8
VARIABLE	Velas Dow Jones	Velas Brent	Velas Tadaw	Velas SP500	Velas Gold	Velas \$	Velas WTI	Price Gold
SCORE	26.74	21.28	19.74	18.69	14.68	14.64	9.69	6.52

Figura 47: Elaboración propia con Excel, a partir de los datos obtenidos con Matlab.

Mediante estas dos clasificaciones, **se concluye que las variables que más correlación muestran con respecto al precio de Aramco, son las velas de cada una de las variables iniciales, excepto las del Euro Stoxx 50**. De cara al modelo de regression learning, sin embargo, se utilizarán los precios de esas variables, que también son muy relevantes, de cara que lo que se quiere predecir en el modelo de Regression Learning es el precio de Aramco; para ello, las restantes variables a introducir también han de ser precios.

4.4. REGRESSION LEARNING

Para realizar el Regression Learning y obtener el mejor modelo, seleccionaremos 4 de los 8 precios de las variables, los más relevantes: Dow Jones, Tadawul, Brent y SP500.

Model 2.18: Gaussian Process Regression	
Status: Trained	
Training Results	
RMSE (Validation)	0.27275
R-Squared (Validation)	0.99
MSE (Validation)	0.074393
MAE (Validation)	0.15373
Prediction speed	~4800 obs/sec
Training time	203.96 sec

Figura 48: Elaboración propia con Regression Learning Matlab.

Como se observa en la figura 48, el modelo seleccionado por el programa es un proceso de regresión Gaussiana, con una bondad del ajuste casi perfecta (R^2 de 0.99). El modelo sigue perfectamente la trayectoria de las cotizaciones de Saudi Aramco, lo cual indica que el ajuste es bueno, y que las variables utilizadas definitivamente sí son relevantes.

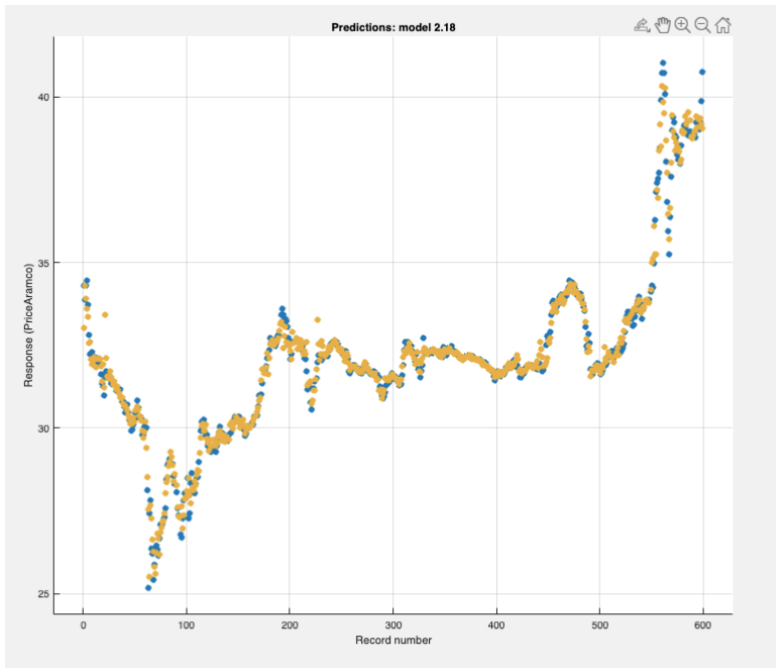


Figura 49: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Response Plot.

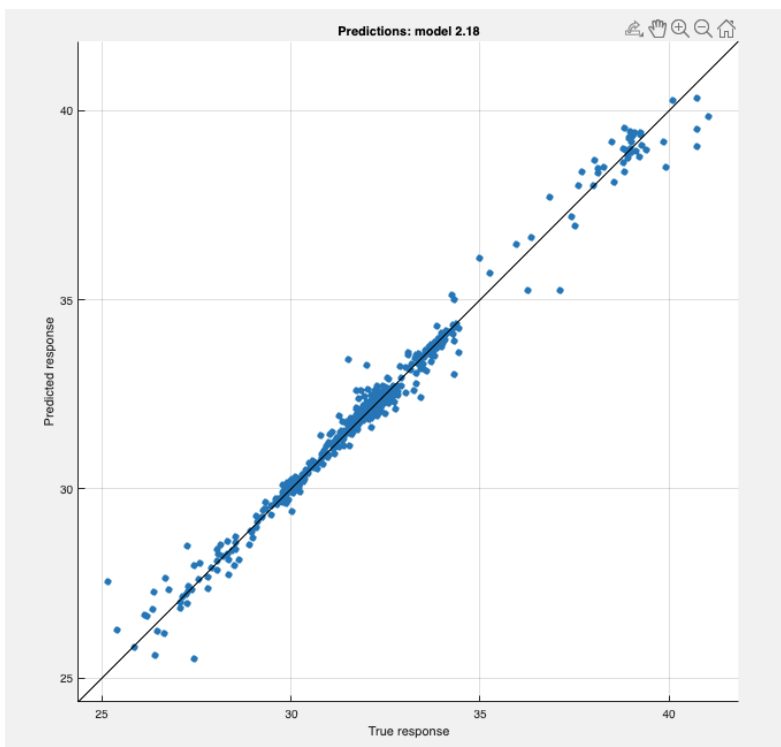


Figura 50: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Validation Predicted vs Actual Plot.

A continuación, en la figura 51, se realizará también una **optimización bayesiana del modelo de GPR**, para tratar de observar si lo mejora. Tras realizarlo, la conclusión es que lo mejora levemente al tener un RMSE ligeramente inferior.

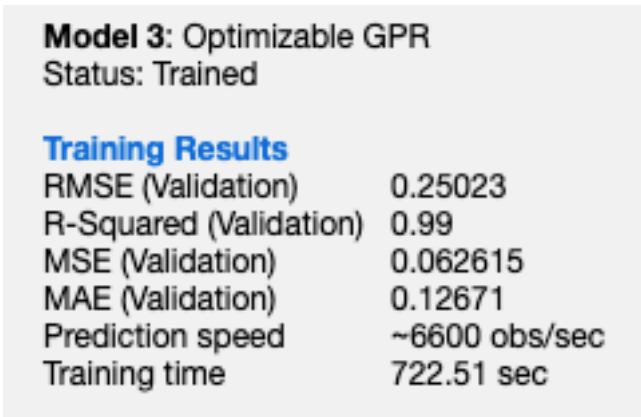


Figura 51: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Optimizable GPR

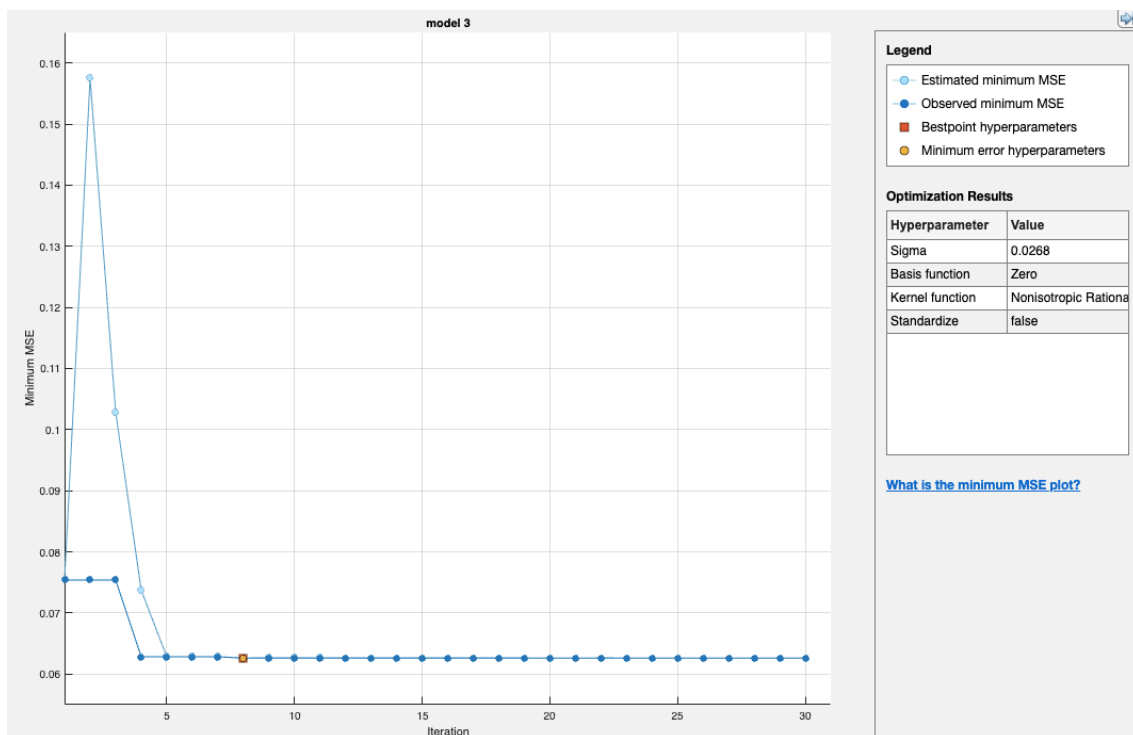


Figura 52: Elaboración propia con Regression Learning Matlab. Minimum MSE Plot.

En la figura 52, el programa realiza la **optimización de hiperparámetros**, buscando entre distintos núcleos en la función gaussiana y cogiendo el modelo con menor RMSE estimado.

5. CAPÍTULO 5: ROBOT TRADING

En el último capítulo del análisis de precios de Saudi Aramco, se programará en Python un robot de trading que opere automáticamente sin la intervención humana durante el proceso, y a través del cual se pueda obtener el mayor beneficio posible sin sufrir pérdidas. Se define como *trading* a la especulación sobre instrumentos financieros en los mercados, con la meta de obtener el mayor beneficio posible; sus pilares son el análisis técnico, fundamental y estratégico a la hora de diseñar la inversión (Elder, 2017)

Este robot de *trading* funcionará en torno al **cruce de una media móvil**, previamente estudiado en este trabajo; ante el cruce por debajo de una media móvil, es probable que se de el inicio de una tendencia bajista, y será interpretado por los operadores como una señal para cerrar sus posiciones a largo plazo; en el caso contrario, es decir, en el caso de que se produzca un cruce del precio por encima de la media móvil, será la señal del surgimiento de una nueva tendencia alcista. (Abednego, 2018). Se utilizarán diferentes medias móviles para tratar de comprobar con cuál es la que el robot funciona mejor, es decir, obtiene mayores ganancias con un riesgo menor. **El robot utilizará un tope final, empleando un bucle para modificar varias órdenes**, moviendo el stop-loss de la orden hacia arriba o hacia abajo a medida que la orden obtiene ganancias, aportando así una protección frente a las pérdidas puesto que se produce una retención de las ganancias. El robot consta de 5 funciones:

- Compra: siendo mayor el precio de las cotizaciones de Aramco que la media móvil establecida, el robot procederá a la compra de acciones; es decir, cuando el precio se cruce por encima de la media móvil.
- Venta: siendo menor el precio de las cotizaciones de Aramco que la media móvil establecida, el robot procederá a la venta de acciones; es decir, cuando el precio se cruce por debajo de la media móvil.
- Stopcompra: la compra llegará hasta un tope de precio, previamente fijado, a partir del cual el robot no adquirirá más acciones.
- Stopventa: la venta se producirá hasta un nivel de precios a partir del cual el robot no venderá más acciones.
- None: se establecerá un número de iteraciones previamente, y después de que se cumpla este período, el robot devolverá en datos, el número de operaciones que se han realizado, el capital generado y la posición final, que es “none”

5.1.ROBOT TRADING CON SAUDI ARAMCO

El robot funcionará, por lo tanto, de diferente manera en función de la media móvil que se le introduzca; para el período de 1 mes, en plena subida alcista provocada entre otros factores por la guerra en Ucrania, si se introduce una media móvil de 200 períodos, es decir, analizando la tendencia alcista desde antes de su inicio, obtenemos un beneficio de 119,84 dólares, o lo que es lo mismo, una rentabilidad del 19% del capital invertido, a lo largo de que se efectúen 418 operaciones.

```
iteracion 418  
Capital: 1119.8492221306562  
Position: none
```

Figura 53: Ganancias con una media móvil 200.

Sin embargo, cogiendo una media móvil de menos períodos, en este caso de 20, se observa que se producen pérdidas significativas, en este caso del 9%. Para un período en el que la tendencia se encuentra en un canal alcista, este resultado no sería positivo.

```
iteracion 418  
Capital: 914.5112251831434  
Position: none
```

Figura 54: Ganancias con una media móvil 200.

La mayor ganancia se daría con una media móvil de 205 períodos.

```
iteracion 418  
Capital: 1125.5676768720411  
Position: none
```

Figura 55: Ganancias con una media móvil 205.

5.2. ROBOT TRADING CON BRENT OIL

Se comparará con un robot que haga trading automático con el índice de referencia del activo con el que comercializa Saudi Aramco, el petróleo; el objetivo de esta comparación es ver si el activo en sí aporta mayor rentabilidad que la empresa que se está analizando.

Para una media móvil de 200, el petróleo aportaría pérdidas, a diferencia del 19% de beneficio que se obtenía con Aramco.

```
iteracion 624  
Capital: 990.5280250260314  
Position: none
```

Figura 56: Pérdidas con una media móvil 200.

Mientras tanto, para una media móvil de 20 habría pérdidas, aunque menores que las experimentadas por Saudi Aramco en este mismo período.

```
iteracion 407  
Capital: 992.1637589123476  
Position: none
```

Figura 57: Pérdidas con una media móvil 20.

El comportamiento del robot trading, la rentabilidad de los resultados y el beneficio que se obtengan, dependen totalmente de los parámetros y campos que se fijen previamente. Es un ámbito interesante a la hora de promover la automatización de las inversiones de manera segura, objetiva y confiable.

6. CONCLUSIONES

La hipótesis inicial, expuesta en la introducción de este trabajo, **queda confirmada**, pues se podría afirmar a la luz de las investigaciones, que el estallido del conflicto ruso-ucraniano, junto a la conjunción de sucesos económicos y geopolíticos que vienen sucediendo desde el inicio de la pandemia en 2020, tales como el hundimiento y posterior reactivación de la economía, han influido en que las fluctuaciones de Saudi Aramco hayan sido diferentes a las estimadas mediante modelos de predicción; incluso han tenido un impacto positivo, como lo demuestra la evolución al alza que los precios de la compañía están experimentando desde el último trimestre de 2021.

El primer análisis realizado, el análisis técnico, muestra la diferenciación en 4 períodos del recorrido bursátil de las acciones de Saudi Aramco, desde su salida a bolsa en 2019. La empresa comenzó su andadura como empresa cotizada, con una pronunciada tendencia bajista, acentuada drásticamente con la crisis del COVID-19. Tras los peores momentos de la pandemia, se produjo una rotura del canal hacia arriba, iniciándose una tendencia alcista que iría a la par de la subida en los valores de los mercados financieros globales. Esta tendencia alcista encontraría su estabilización en una prolongada tendencia lateral, que se alargaría más de un año, comprendido entre los meses de Octubre de 2020 y Noviembre de 2021; en ella el precio no consigue llegar a bajar, estableciéndose un fuerte nivel de resistencia en el canal. A finales de ese año es cuando se produce, de nuevo, una rotura del canal hacia arriba, iniciando una tendencia alcista que se incrementará exponencialmente con las tensiones y el inicio del conflicto en Ucrania.

Estos 4 períodos serán respetados en la posterior modelación mediante funciones. A través de el programa *Curve-fitting*, dentro de Matlab, se ha podido realizar un ajuste de datos (tiempo y precio) a las siguientes funciones: polinómica de tercer grado para el período pre-COVID; polinómica de primer grado para el período de recuperación; serie de Fourier de 4 términos durante la tendencia lateral; y por último, una regresión Gaussiana de dos términos durante esta última y todavía permanente tendencia alcista, en un período de gran volatilidad de los precios. Estas funciones se obtienen tras un trabajo de investigación sobre cuáles eran las funciones que mejor se adaptaban a cada período, es decir, las que presentaban un menor R^2 . A continuación, el programa *Regression Learning* permitió la generación automática de la función con mayor bondad del ajuste

para el período completo, que sería un Proceso de Regresión Gaussiana. Por último, la realización de las series temporales dentro del capítulo de optimización de funciones mediante la extensión *TSAF* de Matlab, y el programa *Phyton*, permitió realizar predicciones para el inicio de 2022, que, como se puede observar, no se han cumplido, en gran parte a causa del conflicto armado en Ucrania.

El análisis del precio dependiendo de otras variables permitió establecer correlaciones entre esas variables y el precio de la empresa; mediante la herramienta *Feature Selection* de Matlab, se emplearon las funciones chi-cuadrado y F-test para analizar las estas correlaciones. Las variables elegidas fueron seleccionadas tras una extensa búsqueda bibliográfica, y mediante el análisis de *feature selection* se comprobó si eran realmente significativas, o no. Los resultados mostraron que el componente de las variables que mejor se relacionaba con el precio de Aramco es el análisis de velas de las siguientes variables: los índices bursátiles Tadawul, S&P500, Dow Jones; los índices de referencia del petróleo Brent y WTI; y otros activos como el oro o el dólar.

Como reto final, se procedió a la configuración de un modelo de robot de trading automático, intentándose determinar la mejor media móvil para él, con la que se obtendría mayor rentabilidad. Se llegó a la conclusión de que esta sería la media móvil de 200 períodos, con la que el robot obtendría una rentabilidad del 19%. A continuación, la generación de otro robot pero esta vez con un activo diferente, que sería el petróleo de referencia Brent, mostró como este no era tan rentable como las propias acciones de Saudi Aramco.

Como futuras líneas de investigación, me gustaría seguir profundizando en el campo del análisis técnico, pues mediante su estudio exhaustivo se pueden configurar patrones de inversión que proporcionan rentabilidad y seguridad en la inversión. En este trabajo, el análisis se podría extender en el robot de trading, mediante un sinfín de posibilidades de órdenes de compra y venta de diverso tipo, dependiendo no solamente de las medias móviles sino de otros campos del análisis técnico. Sería una línea de investigación óptima, de cara a un futuro en el que el concepto de trading se automatice mediante modelos matemáticos, para una mayor precisión y seguridad en las inversiones. Esto se podría lograr mediante una implementación del análisis funcional y ML en el robot.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abednego, L. (2018). *Forex trading robot with technical and fundamental analysis*. Bandung, Indonesia: Journal of Computers.
- Alabdulwahab, S. (2021). The linkage between oil and non-oil GPD in Saudi Arabia. *Economies*, 9(202).
- Amy Myers Jaffe, J. E. (2007). *Saudi Aramco: National Flagship with global responsibilities*. Rice University.
- Banco de España. (2021). *El impacto económico de la pandemia. Informe anual 2020*.
- Banco de España. (2022). *Informe anual 2021*.
- Brufao, A. (2008). *El gran reto del petróleo: la inversión*.
- Elder, A. (2017). *El nuevo vivir del trading*. Obelisco Pub Incorporated.
- En medio de una abrupta desaceleración del crecimiento, a. e. (2022). *Banco Mundial*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2022/06/07/stagflation-risk-rises-amid-sharp-slowdown-in-growth-energy-markets>
- Ferrer, A. F. (2010). *Análisis técnico bursátil*. Profit Editorial.
- Giordano, E. (2002). *Las guerras del petróleo: Geopolítica, economía y conflicto*. . Icaria Andrazyt.
- González, H. A. (2018). Evaluación del riesgo y rendimiento individual de las acciones de Apple, Inc. y de Microsoft Corporation. *REICE Revista científica*.
- Gordon, J. L. (2003). *Análisis técnico de los mercados financieros*.
- Iglesias, E. P. (2003). *Petróleo y gas natural: industria, mercado y precios*. Ediciones Akal.
- Jaffe, A. M. (2007). *Saudi Aramco: national flagship with global responsibilities*. Rice University.
- Kobayashi, Y. (2007). *Corporate Strategies of Saudi Aramco*. The institute of Energy economics, Japan.
- López, S. D. (8 de Junio de 2022). *El Economista*. Obtenido de El Economista Mx: <https://www.eleconomista.com.mx/mercados/Aramco-es-la-empresa-mas-valiosa-del-mundo-20220608-0139.html>
- Manescu, C. (2014). *Forecasting the Brent Oil Price: Addressing Time-Variation in Forecast Performance* . European Comission.

- Mauricio, J. A. (2007). *Introducción al análisis de series temporales*. Universidad Complutense de Madrid.
- Michael Bradshaw, R. C. (2019). Preparing for the new oil order? Saudi Arabia and Russia. *Energy Strategy Reviews*, 26.
- Murphy, J. (2000). *Análisis técnico de los mercados financieros*.
- Palazuelos, E. (2009). *El petróleo y el gas en la geoestrategia mundial*.
- Periódico Expansión. (2020). *Datos Macro*. Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/materias-primas/opec?dr=2020-03>
- Pring, M. J. (2014). *Technical Analysis Explained*. McGraw-Hill Publishing Co.
- Ramady, M. (2017). *Saudi Aramco 2030: Post IPO challenges*. Springer International Publishing.
- Richie Runchuan Ma, T. X. (2021). The Russia-Saudi Arabia oil price war during the Covid-19 pandemic. *Energy Economics*(102).
- Rossi, D. G. (2013). *LA VOLATILIDAD EN MERCADOS FINANCIEROS Y DE COMMODITIES. UN REPASO DE SUS CAUSAS Y LA EVIDENCIA RECIENTE*. Universidad del Centro Educativo Latinoamericano.
- Salvador, P. (2008). *Técnicas computacionales*.
- Saudi Aramco. (s.f.). *Saudi Aramco*. Obtenido de Saudi Aramco: <https://www.aramco.com>
- Statista Research Department. (2022). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/634780/paises-lideres-en-la-produccion-de-petroleo/>
- Steven C. Chapra, R. P. (2006). *Métodos numéricos para ingenieros*. Mc Graw Hill.
- UE. (2022). *Previsiones económicas de primavera de 2022: la invasión rusa pone a prueba la resiliencia económica de la UE*. Comunicado de prensa, Comisión Europea.
- Vellando, G. A. (1978). *Introducción a la estadística teórica*. Lex Nova.
- Yahoo Finance*. (12 de Mayo de 2022). Obtenido de Yahoo Finance Noticias: <https://es.noticias.yahoo.com/propulsada-guerra-ucrania-empresa-superó-120100268.html>