



**Facultad de Economía,
Empresa y Turismo**

Universidad de La Laguna

MEMORIA DEL TRABAJO FIN DE GRADO

**La coyuntura del agua en los mercados financieros. Predicción y análisis
del índice NQH2O y sus contratos futuros.**

(The water situation in the financial markets. Forecasting and analysis of the
NQH2O index and its future contracts.)

Alumnos: Jeremy David García Mendoza
Carlos Jesús Montesinos Quintero

Tutor: D. Néstor Amadeo Bruno Pérez

Grado en Administración y Dirección de Empresas.
Facultad de Economía, Empresa y Turismo de la Universidad de La Laguna.
Curso académico 2020-2021.

En San Cristóbal de La Laguna a 5 de julio de 2021

AGRADECIMIENTOS

Al iniciar este trabajo, nos dimos cuenta de que no íbamos a estar solos. Queremos mostrar nuestros más sinceros agradecimientos a toda la gente que ha hecho posible que esta idea saliera adelante.

Agradecer a nuestro tutor, Néstor Amadeo Bruno Pérez, por brindarnos la libertad a la hora de elegir la temática y el modo de realizar este trabajo.

Agradecer el apoyo y soporte indispensable del profesor Víctor Javier Cano Fernández, del departamento de Economía Aplicada y Métodos Cuantitativos de la Universidad de La Laguna. De corazón, sin ti este resultado no sería posible.

A la Dra. Maribel Cruz García, y a su compañera, la profesora Alicia Bazarte Martínez por su asesoramiento técnico y difusión de sus investigaciones.

Tampoco podemos olvidarnos de Lance Coogan, CEO en Veles Water Limited, por su amabilidad e interés hacia nuestro proyecto.

Por último, a nuestras familias, amigos, parejas y compañeros, en general, gracias por su incondicional apoyo día a día, minuto a minuto.

RESUMEN

La inclusión del agua en los mercados financieros es ya una realidad, el índice NQH2O lleva calculándose en el NASDAQ desde septiembre de 2019, y sus respectivos contratos futuros desde diciembre de 2020. Por ello, el objetivo principal de este estudio se basa en realizar, por primera vez, el análisis del índice Nasdaq Veles California Water (NQH2O) y sus futuros, para posteriormente realizar una predicción del índice bajo la metodología Box-Jenkins sobre modelos ARIMA. Con una muestra comprendida desde septiembre de 2019 a mayo de 2021, se obtiene un modelo econométrico ARIMA (5,1,0) capaz de predecir el índice de forma eficaz. Tras la obtención del modelo, y aportando a la literatura unas nociones del comportamiento del NQH2O, se concluye el gran potencial del agua como *commodity* dentro de los mercados financieros, descubriendo la validez de este tipo de índices y futuros para subsanar cuestiones de índole social, político y económico.

Palabras clave: NQH2O, ARIMA, *commodity*, agua.

ABSTRACT

The inclusion of water in the financial markets is already a reality; the NQH2O index has been calculated on the NASDAQ since September 2019, and its respective futures contracts since December 2020. Therefore, the main objective of this study is based on carrying out, for the first time, the analysis of the Nasdaq Veles California Water (NQH2O) index and its futures, in order to subsequently forecast the index under the Box-Jenkins methodology on ARIMA models. With a sample from September 2019 to May 2021, an ARIMA (5,1,0) econometric model capable of predicting the index efficiently is obtained. After obtaining the model, and providing the literature with some notions of the behaviour of NQH2O, we conclude the great potential of water as a commodity in financial markets, discovering the validity of this type of indices and futures to address social, political and economic issues.

Keywords: NQH2O, ARIMA, *commodity*, water.

ÍNDICE DE CONTENIDOS TEÓRICOS-PRÁCTICOS

INTRODUCCIÓN.....	1
1. ÍNDICES BURSÁTILES.....	2
1.1. CONCEPTO DE ÍNDICE BURSÁTIL.....	2
1.2. CÁLCULO DE ÍNDICE BURSÁTIL.....	2
2. MERCADO DE FUTUROS.....	3
2.1. CONCEPTO DE FUTURO.....	3
2.2. TIPOS DE CONTRATOS DE FUTURO.....	3
2.3. FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO DE FUTUROS.....	4
3. LOS <i>COMMODITIES</i> EN LOS MERCADOS FINANCIEROS.....	5
3.1. CONCEPTO DE <i>COMMODITIES</i>	5
3.2. CLASIFICACIÓN DE <i>COMMODITIES</i>	6
3.3. SITUACIÓN DE LA LITERATURA ACTUAL.....	7
4. EL AGUA EN LOS MERCADOS FINANCIEROS.....	7
4.1. NASDAQ VELES CALIFORNIA WATER INDEX (NQH2O).....	8
4.2. NASDAQ VELES CALIFORNIA WATER FUTURE (H2O).....	9
5. METODOLOGÍA.....	10
6. RESULTADOS.....	12
6.1. ANÁLISIS DE LA SERIE.....	12
6.2. PREDICCIÓN.....	15
7. CONCLUSIONES.....	23
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
ANEXOS.....	28
ANEXO 1: Variables dicotómicas creadas e incluidas en el modelo predictivo.....	28
ANEXO 2:	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cotización del contrato futuro NQH2O según su vencimiento a 1 de marzo 2021.....	10
Tabla 2. Test de Dickey-Fuller aumentado sobre serie original.....	15
Tabla 3. Test de Dickey-Fuller aumentado sobre logaritmo natural de la serie original.....	16
Tabla 4. Test de Dickey-Fuller aumentado sobre la 1ª diferencia del logaritmo natural sobre la serie original.....	17
Tabla 5. Estadísticas del modelo ARIMA (5,1,0).....	20
Tabla 6. Estadísticas del modelo ARIMA (5,1,0) con variables dicotómicas.....	21
Tabla 7. Variables dicotómicas creadas e incluidas en el modelo predictivo.....	28
Tabla 8. Valores de la predicción.....	28

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Cotización del índice Nasdaq Veles California Water Index (NQH2O) a 1 de marzo de 2021.....	9
Gráfico 2. Correlación entre la serie temporal de cotización del NQH2O y sus contratos futuros.....	13
Gráfico 3. Cotización del índice Nasdaq Veles California Water Index (NQH2O) y su factor tendencial.	14
Gráfico 4. Logaritmo natural aplicado sobre la serie de cotización del NQH2O.....	16
Gráfico 5. 1ª diferencia del logaritmo natural aplicado sobre la serie de cotización del NQH2O.....	17
Gráfico 6. Función de autocorrelación simple de la primera diferencia del logaritmo natural de la serie.....	18
Gráfico 7. Función de autocorrelación parcial de la primera diferencia del logaritmo natural de la serie.....	18
Gráfico 8. Comparativa de modelos basados en la herramienta Automatic Arima.....	19

Gráfico 9. Residuos del modelo estimado ARIMA (5,1,0).....	20
Gráfico 10. Residuos del modelo estimado ARIMA (5,1,0) con variables dicotómicas.....	22
Gráfico 11. Predicción dinámica del índice NQH2O hasta el 25 de mayo de 2021.....	22
Gráfico 12. Serie original y predicción dinámica del índice NQH2O hasta el 25 de mayo de 2021.....	23

INTRODUCCIÓN

El agua es considerada como el recurso natural más importante para la vida humana, ya no solo para la existencia de los seres vivos, sino también para las actividades económicas mundiales como la explotación agrícola u otras grandes industrias mundiales como la textil, energética o alimenticia. El gran crecimiento demográfico que ha sufrido la humanidad en los últimos años ha provocado que se cuestione la mala gestión y escasez de un recurso vital como el agua. Por ello, han surgido distintas políticas y medidas con las que frenar el derroche y buscar una mejor gestión de dicho suministro líquido. Uno de los hechos más reciente es la aparición del índice Nasdaq Veles Water California en 2018, en la que, por primera vez en la historia, el agua como recurso se acercaba a los mercados financieros, para más tarde, a finales de 2020, y en contra del ciclo natural de un *commodity*, pasando de un mercado *spot* a un mercado *forward*, surgen los contratos futuros de este propio índice, en búsqueda de una gestión más eficiente del agua y una mayor transparencia en la distribución y los precios de la misma dentro del estado americano de California.

La motivación para realizar este estudio del índice NQH2O y una predicción del mismo, reside en la creciente importancia que está tomando el agua como recurso exiguo, llegando a ser objeto de conflictos políticos y sociales a nivel global. Además, otro de los alicientes para la realización de esta investigación es la posibilidad de que, en un futuro, se vea una cotización universal del agua como *commodity*, cotizando en los mercados financieros como lo hacen otras materias primas como lo son el oro, el petróleo o el maíz.

El objetivo principal de este estudio se basa en obtener una primera toma de contacto desde el marco de la literatura con este índice bursátil y su respectivo contrato futuro, siendo por primera vez analizado, en búsqueda de nueva información sobre su potencial como *commodity* y su aplicación en el mundo real. Asimismo, la estimación de un modelo econométrico certero, el cual permita realizar predicciones de dicho índice, es otra de las metas principales que en cierne este trabajo. Por consiguiente, se aspira a proporcionar a la literatura una visión naciente de la situación actual del presentado índice, una posible perspectiva de futuro de su cotización y ciertas acciones aplicables sobre el agua como recurso negociable.

Para lograr los objetivos planteados, se analizará la muestra recogida de las cotizaciones diarias del índice NQH2O desde septiembre de 2019 hasta mayo de 2021. La metodología llevada a cabo en este estudio para realizar la predicción de dicho índice es la presentada por Box y Jenkins (2015)¹, basada en un modelo autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA), en búsqueda de un modelo que se ajuste en el mayor grado posible a la muestra planteada y así obtener una predicción del NQH2O lo más fidedigna posible.

El trabajo presentado a continuación, consta de 7 capítulos. Los dos primeros de ellos se basan en una aproximación desde la perspectiva teórica a los índices bursátiles, los mercados de futuros,

¹ La primera aparición de esta metodología data del año 1976, pero el material bibliográfico consultado hace referencia a la reedición del año 2015.

y su respectivo funcionamiento. A continuación, se revisa la situación actual de los *commodities*, recogiendo las características propias de estos productos comerciables y cómo se negocian dentro de los mercados financieros. Más en detalle con la temática objeto de estudio, se encuentra el capítulo 4, donde se realiza una revisión de la situación actual del agua, y cómo esto ha influido para su inclusión en los mercados financieros. El quinto apartado de este estudio hace referencia a la metodología utilizada para el análisis de la serie temporal del NQH2O, desarrollada posteriormente en los epígrafes del capítulo 6. Finalmente, el estudio se clausura con un capítulo de conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones enfocadas en el agua como objeto de un instrumento financiero.

1. ÍNDICES BURSÁTILES

1.1. CONCEPTO DE ÍNDICE BURSÁTIL

Por definición, un índice bursátil es la ponderación matemática de un grupo de valores que cotizan en un mercado para llevar a cabo la medición de la evolución de una economía, sector o mercado de valores.

En el caso de los índices accionarios, las acciones seleccionadas para su composición poseen características comunes, como su ubicación, es el caso del S&P 500, el cual recopila las 500 empresas estadounidenses más importantes o un sector concreto, como el índice *Dow Jones Transportation Average*, que recoge las 20 empresas más importantes del sector transportes que cotizan en los mercados estadounidenses.

Estos indicadores se han utilizado para obtener una visión general del estado de una economía en un país o un sector concreto, además de poder observar su evolución en el tiempo.

En consonancia con lo expuesto por Hull (2014), los cambios en el valor del índice, en el corto plazo, provienen de las variaciones que sufren cada una de las acciones que componen la cartera.

Cabe destacar, que los índices bursátiles no incluyen los valores repartidos por dividendos dentro de su cotización, a excepción de algunas variedades de índices que sí incluyen estos dividendos en forma de reinversión, como el índice DAX alemán, denominando a esta modalidad como índices de rendimiento total.

Pero los índices que se observan en los mercados financieros no solo están compuestos por acciones bursátiles, sino que también encontramos índices que recogen el comportamiento de materias primas, como el caso del *CRB Index* o el *Continuous Commodity Index*, los cuales recogen el comportamiento de una diversidad de *commodities* en los mercados a través de sus contratos futuros, llegando a ser, en el caso del *CRB Index*, el barómetro utilizado por la gran mayoría para valorar la situación de los mercados de materias primas en cada momento.

1.2. CÁLCULO DE ÍNDICE BURSÁTIL

Para el cálculo de los índices bursátiles, indistintamente de su naturaleza, se suele recurrir a dos métodos, que darán lugar a dos tipos de índices en función de cómo se hayan calculado: *price-weighted index* y *market value-weighted index*.

El primero, también denominado en español “índice no ponderado”, se basa en calcular el precio del propio índice exclusivamente con los valores de cotización de los elementos que lo componen. Por tanto, ningún elemento del índice tendrá mayor peso que otro, ya que solo es determinante su precio de cotización en el mercado, y no su importancia dentro del mismo.

Por otro lado, encontramos los *market value-weighted index*, conocidos como “índices ponderados según capitalización bursátil”, en el cual los elementos que componen el propio índice tendrán un peso diferente dentro del mismo, determinado por su capitalización.

Ambas metodologías de cálculo sobre los índices son correctas y aceptadas dentro del sector, pero como se ha comentado existen diferencias entre ambos, lo que provoca que en ciertas ocasiones se obtenga un índice más representativo de una economía o sector en el caso de los *market value-weighted index*.

2. MERCADO DE FUTUROS

2.1. CONCEPTO DE FUTURO

Los futuros son productos derivados que pueden ser usados como un instrumento para la formación eficiente de precios en el mercado de diferentes activos y como un medio de protección o cobertura contra riesgos de especulación o inversión. A los futuros se les engloba dentro de los productos derivados ya que su precio depende directamente del activo subyacente (Díaz y Hernández, 2002).

Según Hull (2014) un contrato futuro es un convenio para comprar o vender un activo en cierto momento del futuro a un precio determinado. Mientras que Adell y Romeo (1996) definen a los contratos futuros como un acuerdo estandarizado de compraventa de una cantidad determinada de activo, a un precio determinado a la hora de efectuar el contrato, pero con una entrega futura. BBVA (2018) define los mercados de futuros como la realización de contratos de compra o venta de ciertas materias en una fecha futura, pactando en el presente el precio, la cantidad y la fecha de vencimiento.

Si atendemos a las características propias del mercado de futuros, lo podemos clasificar como un mercado organizado, intermediado, libre, secundario y de derivados financieros.

2.2. TIPOS DE CONTRATOS DE FUTURO

Encontramos dos tipos de contratos futuros, en función del objeto de cambio:

a. *Commodities*: Este tipo de contratos se llevan a cabo sobre tres clases de productos. En primer lugar, los productos agrícolas y ganaderos (cereales, oleaginosas, productos cárnicos, productos tropicales, agua, otros), en segundo lugar, los metales (Oro, plata, aluminio, cobre, plomo, níquel, magnesio, zinc, etc) y, por último, la energía (petróleo y sus derivados).

b. Financiero: Esta tipología de contratos está constituida por cuatro instrumentos financieros. En primer lugar, los futuros sobre tipos de interés, su función principal se basa en el control de los riesgos ocasionados por las variaciones en el tipo de interés del mercado y está conformado por los activos financieros de renta fija tales como las obligaciones, Letras del Tesoro, bonos, cédulas

hipotecarias, etc. Cabe destacar que estos pueden ser tanto a corto como a largo plazo, cuando da lugar al vencimiento de este tipo de contratos se procederá a la entrega o liquidación resultante por la diferencia entre el precio del momento de abrir la posición y el precio en el vencimiento. En segundo lugar, los contratos de futuros sobre divisas, en él se lleva a cabo la negociación sobre la compra de una cantidad de divisas en el futuro con un precio prefijado previamente. En este tipo de contratos se negocia con las divisas de mayor transaccionalidad comercial como pueden ser el dólar, euro, libra esterlina, yuanes, yenes, etc. En tercer lugar, los futuros sobre acciones, este tipo de contratos se caracteriza por la negociación de acciones en la que existe una unidad mínima de negociación que representa la cantidad de 100 acciones. Y en cuarto y último lugar, los futuros sobre índices bursátiles.

La característica principal de este tipo de contratos sobre productos financieros radica en la inexistencia de la entrega física del activo subyacente, además, cabe destacar que el precio está sujeto a la fluctuaciones del producto en cuestión con el que se opera.

2.3. FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO DE FUTUROS

Dentro del funcionamiento de un contrato futuro observamos dos partes: la compradora, que se le denomina como “posición en largo”, y una parte vendedora, denominada como “posición a corto”. Dentro del mercado de futuros encontramos el designado riesgo de contrapartida, donde existe la posibilidad de que la parte compradora (vendedora) incumpla el contrato de compra (venta) por fluctuaciones en el precio al contado (*spot*). Con la finalidad de organizar el mercado y eliminar el riesgo de contrapartida, surge la Cámara de Compensación. La Cámara de Compensación vela por los derechos de ambas partes, siendo intermediario en las operaciones de futuro, tomando el rol de vendedor frente a posiciones a largo, y de comprador frente a posiciones a corto.

La Cámara de Compensación es también el factor diferencial entre los mercados de futuros y los *forward*. Ambos mercados comparten similitudes, como la materialización del contrato en un tiempo futuro específico, un precio pre pactado antes de entrega... pero la diferencia radica en la regularización de cada mercado, considerando al de futuros un mercado regulado, gracias en gran parte a la figura de la Cámara de Compensación, y los *forward* como mercados no regulados o OTC (*Over the Counter*), donde directamente las partes negocian entre sí.

La Cámara de Compensación se nutre de dos instrumentos para abolir el riesgo de contrapartida. El primero, los depósitos en garantía o *margins*, por el cual la Cámara de Compensación exige a cada participante en el mercado que abra una posición, ya sea a largo o en corto, a depositar una cantidad de fondos mínimos (entre un 5-10% del valor de la operación) con el fin de cubrir las pérdidas que puedan tener. Además, el depósito de garantía se enlaza con la segunda herramienta frente a el riesgo de contrapartida de la Cámara de Compensación, las liquidaciones diarias de pérdidas y ganancias, las cuales se abonarán o cargarán a dicho depósito en garantía. Cabe destacar que la cantidad de cada depósito varía en función del tipo de activo negociado y la volatilidad del mercado, entre otras, y además se revisa el depósito de garantía exigido tras el cierre de la sesión. El depósito en garantía se devolverá una vez el participante cierre su posición o al vencimiento del contrato de futuro.

Como se ha señalado anteriormente, las liquidaciones diarias de pérdidas y ganancias son otro mecanismo aplicado por la Cámara de Compensación para minimizar el riesgo de contrapartida. Tras terminar la sesión y obtener un precio de cierre del contrato de futuros, las liquidaciones diarias de pérdidas y ganancias, o sus siglas *PnL* (del inglés: *Profit and Loss*), tienen el fin de cargar diariamente un beneficio o una pérdida, en función de la fluctuación que haya sufrido el precio, a cada una de las partes del contrato. Este beneficio o pérdida irá contra el depósito de garantía del operador, de modo que la parte que haya obtenido un beneficio tendrá un incremento en su depósito de garantía, y su contraparte recibirá un *margin call*, ya que su depósito de garantía no cubrirá el mínimo exigido por la Cámara de Compensación. De este modo, con la liquidación diaria, todos los operadores comenzarán las sesiones con el mínimo depósito de garantía exigido.

Como se ha expuesto con anterioridad, los futuros se tratan de productos derivados, por el hecho de una correlación directa entre el precio del contrato de futuro y el precio *spot* del activo al que hace referencia dicho contrato.

$$\text{Precio futuro} = \text{Precio contado} + \text{coste neto de financiación}$$

Esta fórmula general, basada en un mercado perfecto, no tiene en cuenta factores y variables que sí afectan directamente al precio del futuro, como pueden ser: los costes de transacción, el tipo de interés o los dividendos generados (en caso de un futuro sobre una acción). Con esto en cuenta, se obtiene una fórmula para el precio teórico de un contrato futuro más afín a la realidad:

$$\text{Precio teórico futuro} = \text{Precio contado} * (1 + \text{Tipo interés efectivo} - \text{Rentabilidad por dividendos})$$

3.- LOS COMMODITIES EN LOS MERCADOS FINANCIEROS

3.1. CONCEPTO DE COMMODITIES

Como se ha expuesto con anterioridad, en los mercados de futuros se operan dos objetos principalmente: productos financieros y *commodities*.

Como plantean Costa y Font (1993) el término anglosajón *commodity*, equivalente a materia prima o mercancía, es decir, a material en crudo, sin procesar, abarca un amplio espectro de productos: agrarios, metálicos y energéticos. Sin embargo, la visión expuesta por Sáez del Castillo y Doblado (2013) distingue entre el concepto materia prima y *commodity* como tal, señalando que estos últimos no dejan de ser materias primas, pero con unas características propias que los diferencian del resto, otorgando capacidad para ser negociados en los mercados financieros. Para que una materia prima tome la condición de *commodity* deberá ser:

- Presente una gran volatilidad. Además de las condiciones básicas de oferta y demanda propias de un mercado competitivo, esta volatilidad puede venir explicada por la exposición que sufre el activo a factores externos (Ej. Un acontecimiento climatológico adverso en EEUU donde la cosecha de trigo se viera afectada, repercutirá en el precio de su *commodity*)

- Homogeneización y estandarización de la materia prima. El *commodity* deberá cumplir esta característica, con el fin de que no existan diferencias sustanciales en el producto comercializado, cumpliendo con unas condiciones de entrega y calidad preestablecidas (Ej. El *commodity* del café EEUU, indistintamente de su lugar de producción, deberá ser de características similares para que no haya diferencias de productos dentro del propio *commodity*)
- Existencia de valor de negociación de la materia prima que da lugar a la creación de una estructura de mercado competitivo, conformado por un determinado número de productores, consumidores y operadores, derivada de la escasez o abundancia del propio *commodity*.

3.2. CLASIFICACIÓN DE *COMMODITIES*

Si se atiende a una clasificación generalizada de *commodities* no se encuentra paridad en la literatura, utilizando diferentes criterios de clasificación como la composición de la materia prima, su uso o su origen. En base a nuestro criterio, y aludiendo a la clasificación expuesta por CME Group (2016), se ha seleccionado una clasificación de *commodities* en base a su naturaleza:

- Agrícolas: Ej. Trigo, avena, soja...
- Energía: Ej. Petróleo, gas natural, carbón...
- Metales: Ej. Oro, plata, platino, aluminio...

Los *commodities* son operados en el mercado de futuros, a través de contratos, pero no son objeto exclusivo de este mercado, ya que en el mercado *spot* también se puede operar con estas materias primas.

Cabe destacar la existencia de índices bursátiles, cuyo objeto principal es un *commodity* o una selección de los mismos con naturaleza o características similares. Uno de los principales índices basado en *commodities* es el *Dow Jones Commodity Index*, el cual recoge las cotizaciones de 28 contratos futuros sobre *commodities* agrícolas, energéticos y metales. La composición de dicho índice es equitativa, y revisado anualmente, con el fin de que ningún *commodity* o grupo de *commodities*, que conformen el índice, tengan un mayor peso dentro del mismo e influya directamente en el valor del propio índice.

Los *commodities* dentro de los mercados futuros no tienen como finalidad operativa el intercambio físico, es decir, que en la fecha de vencimiento no se entrega (físicamente) la materia prima negociada. Por tanto, coincidiendo con lo expuesto por Costa y Font (1993), determinamos que los contratos futuros de *commodities* tienen un carácter meramente especulativo, y no de compra-venta que es su función principal, ya que aproximadamente el 97% de los contratos futuros no llegan a la fecha de vencimiento, sino que se liquidan por compensaciones de compra y venta. Las liquidaciones en efectivo o *cash settlement*, se basan en la liquidación de un contrato futuro en efectivo en lugar de la entrega física del activo subyacente.

Los futuros *commodities*, siguen la misma dinámica expuesta que cualquier otro contrato de futuros, aunque es cierto que existen ciertas peculiaridades, como en el caso del precio teórico del

contrato futuro, donde en el caso de los *commodities* se tendrá en cuenta ciertas partidas de gasto como pueden ser el transporte o el almacenamiento físico.

3.3. SITUACIÓN DE LA LITERATURA ACTUAL

Si se revisa la literatura, se puede observar el gran interés que han despertado los *commodities* como foco de estudio en los últimos años, bien sea con carácter investigativo o la exposición de nuevas propuestas en base a estos elementos. Como bien expone De Morales (2008), el crecimiento experimentado por las emergentes potencias mundiales como Rusia, China o India, tanto demográfico como económico, durante los últimos años, ha provocado que la demanda de ciertos *commodities* haya ido en un aumento exponencial, como lo son los *commodities* agrícolas o energéticos. Este volumen creciente en los mercados de *commodities* ha sido una de las causas del aumento en la volatilidad dentro de estos mercados, sumada a otras como la crisis sanitaria COVID-19, en la que según señala Van Hoang y Sied (2021), se ha producido un cambio estructural en la mayoría de los mercados de *commodities* y de divisas, tras el paso del COVID-19.

Por otro lado, destacan los estudios de ciertos *commodities* cuyo objeto de investigación es el propio valor de cotización, como el caso de Cruz y Bazarte (2014), donde determinan, a través de la metodología Box-Jenkins sobre modelos ARIMA, una predicción precisa del precio de la plata para el periodo presentado. Además, se expone que para considerar significativa una variación en el precio de dicho *commodity*, deberá repercutir en su cotización un 2,81% a la baja, o por contraparte, un 2,96% al alza.

Acorde con el estudio de Cruz y Bazarte (2014), otros autores como Tularam y Zaeed (2016) presentan una comparación entre tres modelos predictivos (suavizamiento exponencial, Holt's Winter y ARIMA) aplicados sobre el WTI (*West Texas Intermediate*), donde se concluye que el modelo ARIMA bajo la metodología Box-Jenkins, utilizado en el estudio es el que mejores resultados arroja en materia de predicción.

Cabe destacar que los *commodities* no son objeto de estudio exclusivo de las ciencias económicas, en otras ramas científicas, se ha puesto de manifiesto el gran interés por los mercados de *commodities*, en el caso de Villada y García-Quintero (2016), donde en su estudio sobre la cotización del oro se ha puesto a prueba la capacidad predictiva de modelos informáticos de redes neuronales artificiales, presentándose como una herramienta de gran utilidad en materia económica.

4.- EL AGUA EN LOS MERCADOS FINANCIEROS:

El agua es un recurso esencial para la vida humana, y esto se ve reflejado en el incremento de su consumo que va correlacionado con el crecimiento demográfico. Como expone Wada *et al.* (2016), en los últimos 100 años la población mundial se ha multiplicado por 4 y el consumo de agua a nivel mundial se ha multiplicado por 6, esto nos refleja una tasa de crecimiento mayor en el consumo de agua frente a la tasa demográfica, lo que nos lleva a pensar en un crecimiento en el consumo de agua per cápita. Ciertamente, que no todos los países tienen la misma accesibilidad a este recurso de acuerdo con el último dato recogido por la ONU, en la actualidad una de cada tres personas en

el mundo no dispone de acceso a agua potable, a pesar de ser tratado como un elemento de primera necesidad. Las problemáticas ante la escasez de agua y la distribución de la misma han provocado la creación de nuevas acciones a nivel mundial, como se recoge en el caso de la Agenda 2030 en su ODS nº6, donde se busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas las personas. Algunos autores, como Aguilera Klink (2008), señalan que esta problemática del recurso no viene derivada de una escasez física del mismo, sino de un mal uso y despilfarro por parte de la sociedad, siendo esta la cuestión clave del problema.

Debido a esta creciente problemática, el agua se ha convertido en uno de los recursos más valorados a día de hoy, denominándose coloquialmente como el “oro del futuro”, y fijándose como detonante de posibles conflictos políticos y sociales, repercutiendo en mayor medida en aquellos países en los que actualmente impera la escasez de agua.

Actualmente, la valoración del precio del agua depende directamente del lugar en específico que se seleccione, pues su valor económico está sujeto a una serie de costes que pueden variar según el ámbito geográfico. Por regla general el valor económico del agua es el resultado de la suma de los costes de capital, gestión, mantenimiento, administración, confiabilidad de abastecimiento, oportunidad y los costes ligados a las externalidades impuestas a la sociedad.

4.1. NASDAQ VELES CALIFORNIA WATER INDEX (NQH2O)

A raíz de la problemática que, en ciente al agua, más concretamente, el elevado consumo de la misma y su disponibilidad en ciertas épocas del año en EEUU, llevaron a Nasdaq junto a las empresas Veles Water y WestWater Research a la creación y puesta en marcha, en el año 2019, del índice Nasdaq Veles California Water Index, bajo el ticker NQH2O. La finalidad de este índice es agrupar y examinar el precio al contado del agua del estado de California respondiendo a las condiciones de oferta y demanda de los mercados de agua subyacentes. La razón por la que sea esta localización el objeto de estudio de este índice subyace de que es el estado norteamericano con mayor volumen de consumo de agua anual. Actualmente el estado de California se encuentra expuesto a un gran estrés hídrico que ha llevado a provocar grandes fluctuaciones del precio del agua en los últimos años, llegando a ser multiplicado por dos el metro cúbico de agua respecto al pasado año. Es por ello, que dada la situación del mercado del agua en California y sus perspectivas de futuro, han creado unas condiciones idóneas para la creación y puesta en marcha de este índice.

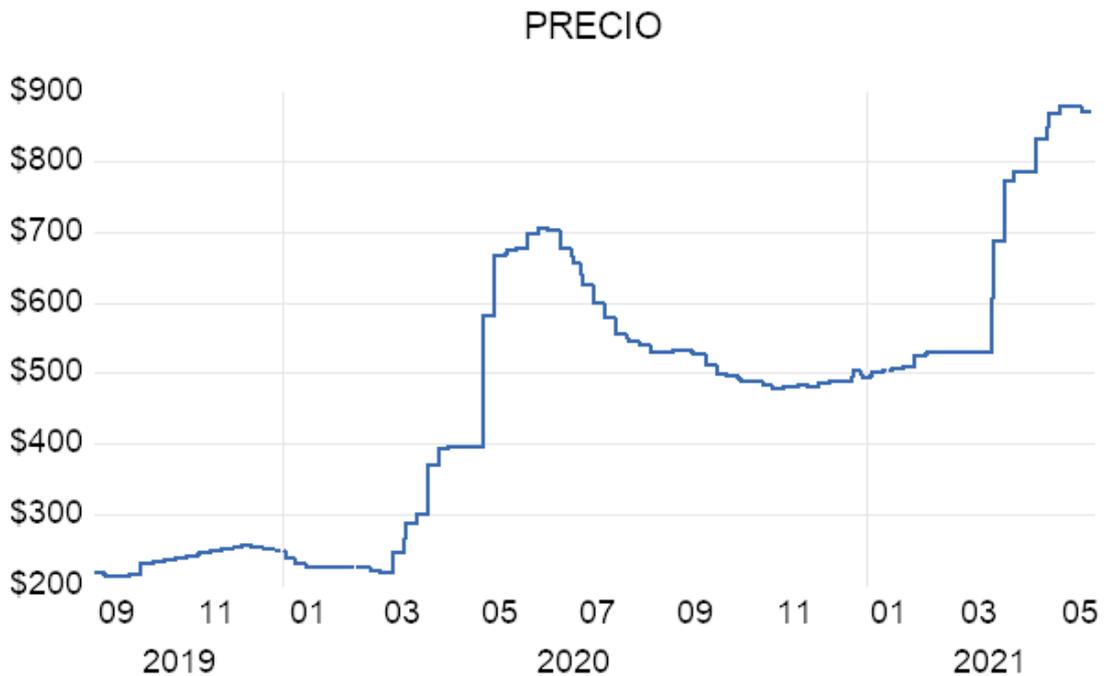
El precio del NQH2O viene expresado en dólares estadounidenses por acre-pie (medida de volumen equivalente a 1.233,48 m.) y se elabora a través de las transacciones de derechos de agua del mercado de aguas superficiales y conjuntamente con la valoración de las 4 cuencas hidrográficas con mayor volumen de California: Cuenca Central, Cuenca Chino, Cuenca Principal de San Gabriel y la Cuenca de Mojave.

De una forma sucinta, se puede definir que este índice recoge las transacciones realizadas en el estado californiano sobre el agua y plasmarlo dentro del mercado bursátil, dejando de lado

intereses empresariales y especulativos, gracias a la comprobación de las transacciones incluidas en el índice por parte del CME Group.

Cierto es que el índice NQH2O ha sido el precursor en la entrada del agua en los mercados financieros, pero si se observa el pasado, se puede encontrar otros activos cotizables cuyo eje es el agua, como en el caso de Australia, donde ciertos fondos tienen los derechos del agua por zonas y estos pueden ser adquiridos

Gráfico 1. Cotización del índice Nasdaq Veles California Water Index (NQH2O) a 1 de marzo de 2021.



Fuente: Elaboración propia. NASDAQ.

4.2. NASDAQ VELES CALIFORNIA WATER FUTURE (H2O)

En diciembre de 2020, se comienzan a operar por primera vez en la historia los futuros sobre el índice Nasdaq Veles California Water, bajo el ticker H2O, siendo la primera herramienta sobre el suministro de agua en bolsa, la cual es capaz de regular los riesgos y ajustar el lado de la demanda con la oferta, acercándose de esta manera el agua a otros *commodities* como el oro o el petróleo. Estos futuros sobre NQH2O se operan desde el CME Group, conformado por las dos bolsas de futuros más importantes de Chicago: *Chicago Board Trade* y *Chicago Mercantil Exchange* junto a *New York Mercantile Exchange*.

En el momento de redactar este documento, el último contrato futuro sobre el NQH2O se cerró a 549\$. Sus respectivos futuros tienen una cotización actual:

Tabla 1. Cotización del contrato futuro NQH2O según su vencimiento a 1 de marzo 2021.

Contrato futuro	Precio de cotización \$/acre-pie
Nasdaq Veles California Water (Marzo 2021)	549\$
Nasdaq Veles California Water (Abril 2021)	553\$
Nasdaq Veles California Water (Mayo 2021)	564\$
Nasdaq Veles California Water (Junio 2021)	582\$
Nasdaq Veles California Water (Septiembre 2021)	584\$
Nasdaq Veles California Water (Diciembre 2021)	586\$
Nasdaq Veles California Water (Marzo 2022)	590\$
Nasdaq Veles California Water (Junio 2022)	592\$
Nasdaq Veles California Water (Septiembre 2022)	594\$
Nasdaq Veles California Water (Diciembre 2022)	604\$

Fuente: Elaboración propia.

Por añadidura, es de señalar que estos futuros sobre el índice en cuestión se revisan semanalmente, cada miércoles a las 9:30 hora local de Chicago.

La inclusión de estos contratos futuros sobre el NQH2O proporciona a sectores como el agrícola o industrial un refugio, en términos económicos, ya que se podrá negociar el precio de una cantidad de agua demandada para el futuro, aboliendo así la incertidumbre del precio que pueda tener el agua en el momento que sea necesario. Por tanto, se obtendrá un ajuste más equitativo entre oferta y demanda en los mercados de agua californianos, con la finalidad de que estos contratos futuros proporcionen al demandante la cantidad necesaria, en el momento justo y al precio adecuado.

5.- METODOLOGÍA

La metodología empleada en este trabajo sobre los modelos ARIMA, presentada por Box y Jenkins (2015), se basa en 4 fases claramente diferenciadas: identificación del modelo, estimación de los parámetros validación del modelo planteado y predicción.

El fin último de esta metodología, queda reflejado en la cuarta fase, el cual pasa por encontrar el mejor modelo que se ajuste a la serie temporal propuesta para realizar una predicción de sus valores futuros.

En consonancia con la no estructuralidad expuesta por Broz y Viego (2014), se puede sintetizar la definición de los modelos ARIMA bajo la caracterización de predecir los valores futuros de una serie temporal a través de su comportamiento pasado.

En la primera fase de identificación y selección del modelo, se estudiará el comportamiento de la serie original, verificando dos condiciones claves: la estacionalidad de la serie y su estacionariedad. En el caso de encontrarse un comportamiento estacional dentro de la serie original, se recurrirá a una modificación del modelo ARIMA, concretamente a un modelo autorregresivo de media móvil con componente estacional (SARIMA, por sus siglas en inglés). Para comprobar empíricamente la estacionariedad se recurre, entre otros, a los test de raíces unitarias, concretamente en este trabajo al test de Dickey-Fuller aumentado, presentado por Said y Dickey (1984), siendo un test más completo y para muestras más complejas que el test Dickey-Fuller originario, expuesto por Dickey y Fuller (1979). La metodología de este test de Dickey-Fuller aumentado se basa en corroborar la existencia, en la serie estudiada, de una raíz unitaria dependiendo de los valores críticos seleccionados, por tanto, este proceso determina la estacionariedad, o por contrapartida, la ausencia de esta, en la serie objeto de estudio.

En síntesis, el test de Dickey-Fuller aumentado, se basa en dos hipótesis:

H0: Existencia de raíz unitaria (Serie no estacionaria)

H1: No existencia de raíz unitaria (Serie estacionaria)

En la mayoría de las series temporales de la economía real (cotizaciones bursátiles, producciones industriales, ventas de un producto...) las series no son estacionarias. En aras de cumplir con la condición de estacionariedad, es habitual que se recurra a la aplicación de logaritmos y diferencias, en búsqueda de una serie estacionaria tanto en media como en varianza.

Determinar los componentes autorregresivo (AR o p) y de media móvil (MA o q) es el siguiente paso dentro de la primera fase de la metodología Box y Jenkins (2015), para ello se recurre a la función de autocorrelación, de la serie transformada si fuese necesario, revisando tanto la función simple como la parcial. Como bien reflejan Box y Jenkins (2015), a través de los rezagos de la función de autocorrelación simple se definirá el componente de media móvil y, por otro lado, la función parcial determinará el componente autorregresivo del modelo ARIMA a estimar.

La siguiente fase, conocida como fase de estimación, se basa en estimar los coeficientes de los retardos seleccionados en la etapa de identificación del modelo, frecuentemente por máxima verosimilitud o mínimos cuadrados, en búsqueda del mejor modelo autorregresivo que explique el comportamiento de la serie original.

Tras la estimación de los parámetros, se llega a la fase de verificación, en la cual, con una selección de modelos previamente estimados, se comparan para seleccionar aquel que sea más parsimonioso. Para la comparación entre modelos, se puede recurrir a varios estadísticos y criterios, como pueden ser aquellos de bondad de ajuste (R^2 ajustado, el criterio de Akaike o el de Schwarz) o los residuos del modelo estimado.

En este estudio en particular, se han utilizado ambos métodos de validación, los cuales se desarrollarán en el apartado 5.

Cabe destacar que una de las condiciones de validación del modelo, es el comportamiento de los residuos como un proceso de ruido blanco, o también conocido como perturbación estocástica. Se entiende por ruido blanco a un proceso, en el cual, las variables toman una media constante, en torno a 0, e igualmente una varianza que también se considera constante, por lo que se obtiene un proceso puramente aleatorio, donde existe una ausencia de autocorrelación entre los términos. En caso de que no se obtenga una validación, se deberá retroceder a la fase de identificación y selección, hasta obtener un modelo que supere todas las fases expuestas.

La última fase de la metodología se ciñe a la predicción, en la que, ya obtenido el mejor modelo explicativo de la serie, se comprueba su efectividad predictiva a la par que se generan nuevos pronósticos para los términos futuros de dicha serie.

A la hora de desarrollar la metodología expuesta se han utilizado los programas estadísticos Eviews 11 y Gretl. Dichos softwares son capaces de procesar y analizar series de tiempo, ofreciendo la posibilidad de generar modelos y predicciones de una forma eficiente.

6. RESULTADOS

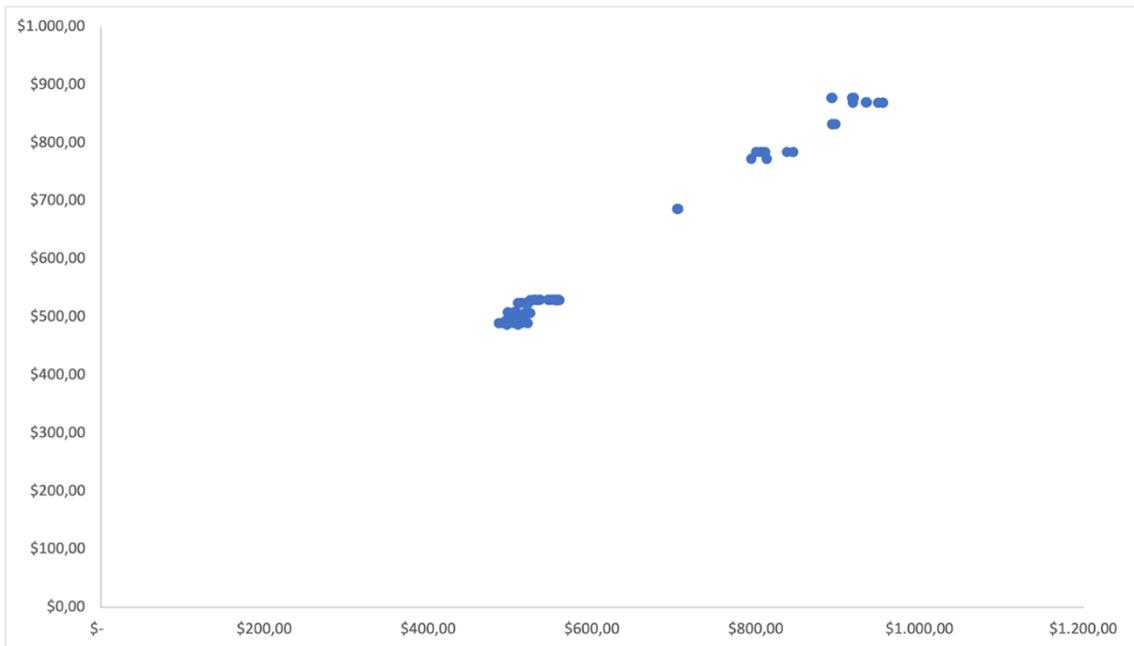
6.1 ANÁLISIS DE LA SERIE

Por razones de escasez de datos y bajo volumen de negociación en los mercados de futuros, se ha optado por ejecutar este apartado metodológico con las cotizaciones del propio índice Nasdaq Veles California Water (NQH2O) en lugar de sus contratos futuros.

Antes de comenzar con el propio análisis de la serie, se estudiará la correlación entre la serie del índice NQH2O y sus contratos futuros, desde el 7 de diciembre de 2020 que es donde estos últimos comienzan a cotizar.

Tras realizar la correlación entre ambas series, con la ayuda del programa Microsoft Excel y la función correlación, obtenemos un estadístico de 0,9957, lo que nos refleja un nivel de correlación positiva muy alta, y, por tanto, que ambas series se mueven en la misma dirección.

Gráfico 2. Correlación entre la serie temporal de cotización del NQH2O y sus contratos futuros.



Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de este apartado, y del estudio en términos generales, recae en un análisis del precio del índice y una predicción, a través de modelos econométricos, del mismo.

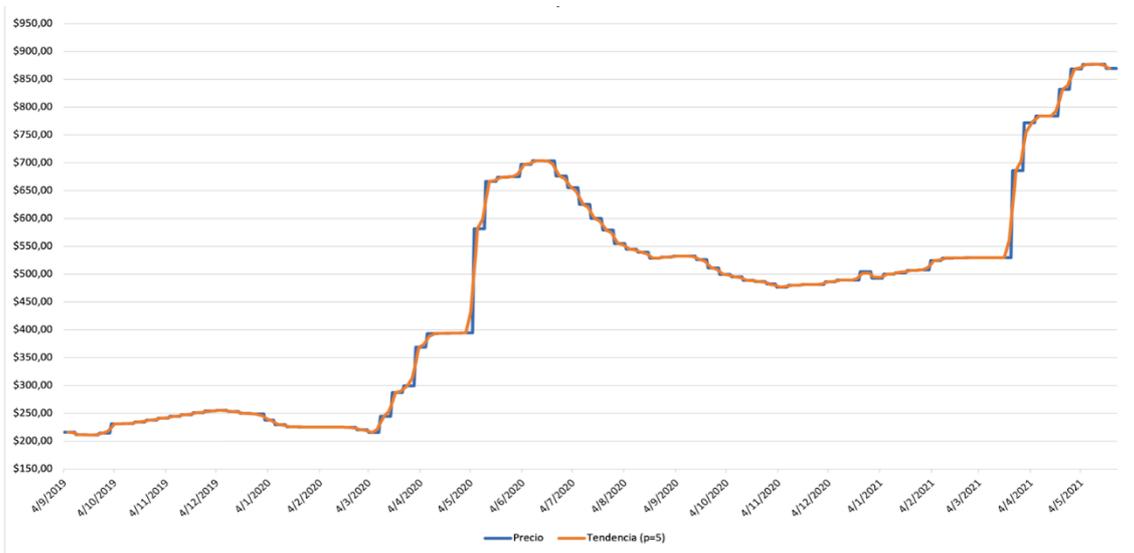
Para ello, se ha partido de una serie temporal, en la que se recoge la cotización diaria del índice NQH2O, iniciando el 4 de septiembre de 2019 hasta el 25 de mayo de 2021, contando con un total de 435 muestras.

Observamos un valor mínimo del NQH2O en 211,14\$, alcanzado el 18 de septiembre de 2019, a partir de ahí, por mero análisis informal, podemos concluir que el precio ha seguido una tendencia alcista, con ciertos retrocesos, hasta llegar a su cotización máxima de 877,36\$, en la muestra de la serie correspondiente al 12 de mayo de 2021.

Al encontrarnos ante una serie temporal, más concretamente, un modelo univariado con el precio del índice NQH2O como variable generadora, es necesario estudiar los componentes básicos de la propia serie. En particular, la tendencia y el factor estacional de la serie a estudiar.

En primer lugar, estudiaremos el componente tendencial de la serie. Para ello se ha obtenido la tendencia de la serie a través del método de medias móviles, donde se ha tomado un número de periodos cortos de tiempo (p)= 5, ya que los datos muestrales se basan en días laborables en la semana.

Gráfico 3. Cotización del índice Nasdaq Veles California Water Index (NQH2O) y su factor tendencial.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico 3, el factor tendencial no difiere, en términos generales, de la propia serie; con ello podemos corroborar lo expuesto anteriormente por observación informal, la cotización del índice NQH2O ha seguido una tendencia alcista durante el periodo de estudio.

6.2 PREDICCIÓN

Con el objetivo de aplicar las fases expuestas anteriormente de la metodología de Box y Jenkins (2015) sobre los modelos ARIMA, se ha de modelar la serie para una correcta aplicación del método predictivo. En primer lugar, se estudiará si la serie analizada es estacionaria. Gráficamente no observamos un comportamiento estacionario de la serie, pero esto no es válido para tomar conclusiones sobre si la serie cumple o no dicha condición.

Para ello, se recurrirá a la ya mencionada prueba de Dickey-Fuller aumentado. Es preciso señalar, que las pruebas Dickey-Fuller aumentado realizadas en este trabajo, se tomará el valor del 5% como valor crítico, por tanto, si el estadístico de la prueba (tDF) es mayor que el valor crítico del 5% (α), no se rechazará la hipótesis nula (H_0).

El primer test de Dickey Fuller aumentado se realiza sobre la serie original, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2. Test de Dickey-Fuller aumentado sobre serie original.

Null Hypothesis: PRECIO has a unit root		
Exogenous: Constant, Linear Trend		
Lag Length: 5 (Automatic - based on SIC, maxlag=16)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.787074	0.7094
Test critical values:	1% level	-3.981462
	5% level	-3.421241
	10% level	-3.133377

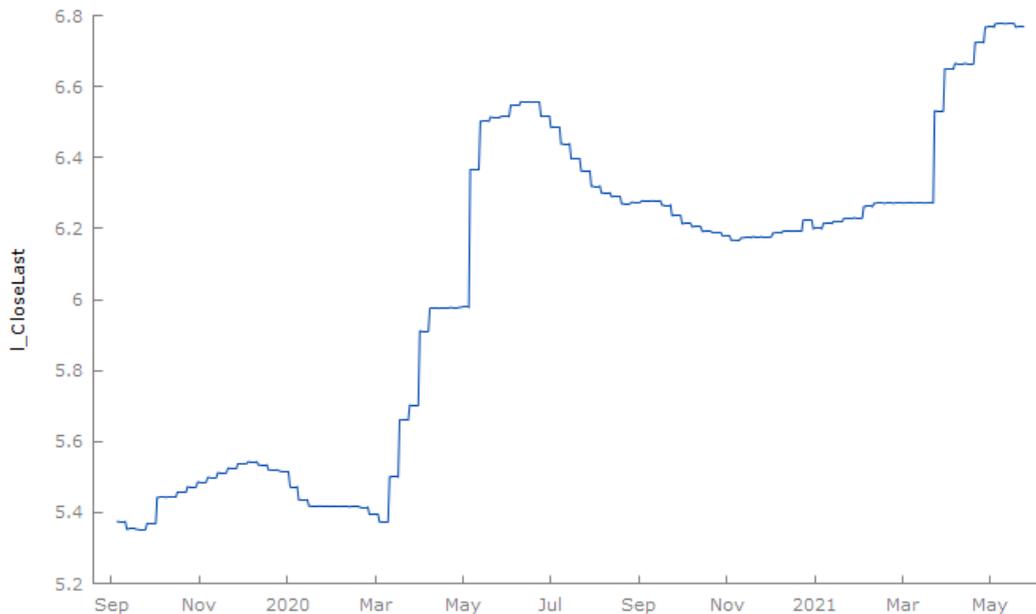
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 2, el estadístico del test de Dickey-Fuller aumentado (tDF=-1.787074) es mayor que el valor crítico en el nivel del 5% ($\alpha=-3.421241$), lo que nos lleva a aceptar la H_0 , afianzando lo expuesto anteriormente sobre la no estacionariedad de la serie original.

La falta de estacionariedad por parte de la serie, con una media y varianza cambiantes en el tiempo, provoca dificultades a la hora de aplicar la metodología de Box y Jenkins (2015) en modelos ARIMA, como ya se ha comentado, una de las condiciones del modelado expuesto es que las variables que lo componen sean estacionarias. Para solventar dicha problemática, se busca conseguir la estacionariedad de la serie a través de la adición de un logaritmo natural:

Gráfico 4. Logaritmo natural aplicado sobre la serie de cotización del NQH20.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la gráfica 4, aplicando logaritmo natural a la serie original no encontramos estacionariedad en media, pero si en varianza. Para corroborar y aportar un carácter formal a nuestra hipótesis sobre la falta de estacionariedad total, tanto en media como en varianza, en esta transformación de la serie, recurriremos nuevamente al Test Dickey-Fuller aumentado.

Tabla 3. Test de Dickey-Fuller aumentado sobre logaritmo natural de la serie original.

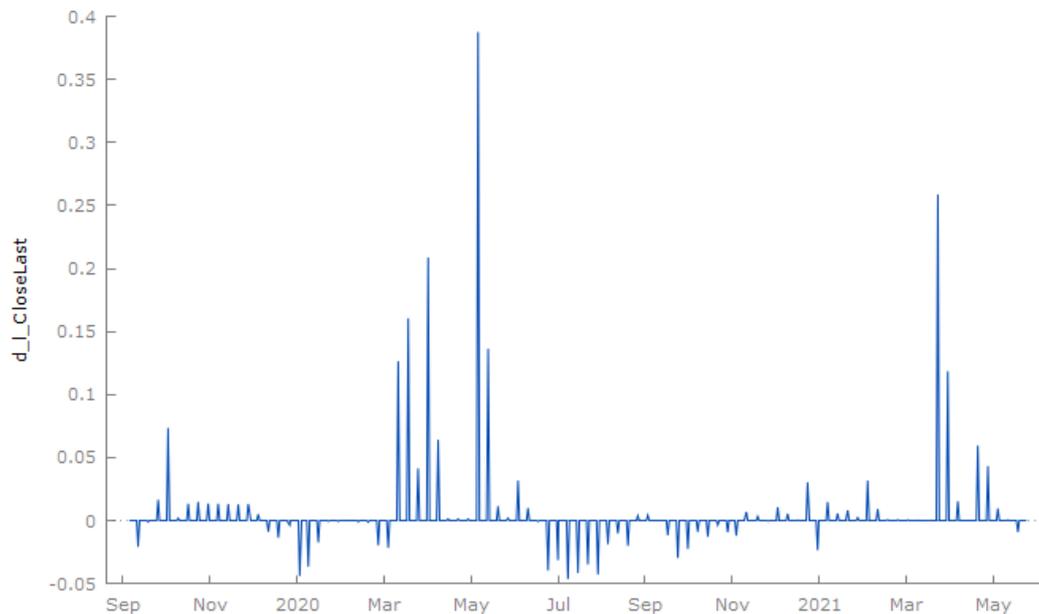
Null Hypothesis: L_PRECIO has a unit root		
Exogenous: Constant, Linear Trend		
Lag Length: 5 (Automatic - based on SIC, maxlag=16)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.728495	0.7369
Test critical values: 1% level	-3.981462	
5% level	-3.421241	
10% level	-3.133377	

*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

Fuente: Elaboración propia.

Observando los resultados recogidos en la tabla 3, el estadístico (tDF=-1.728495) del test realizado no supera el valor crítico del 5% ($\alpha=-3.421241$), por tanto, no se rechaza la H_0 , teniendo la serie del logaritmo natural raíz unitaria, y, por tanto, no siendo una serie estacionaria. Tras realizar la transformación de la serie a través del logaritmo natural, no queda resuelta, en su totalidad, la problemática expuesta, ya que como se ha señalado y argumentado, se tendría una serie estacionaria en varianza, pero no en media. La siguiente transformación a realizar sobre la serie, para lograr la estacionariedad en media, se trata de las diferencias, comenzando con la primera diferencia sobre el logaritmo natural calculado con anterioridad:

Gráfico 5. 1ª diferencia del logaritmo natural aplicado sobre la serie de cotización del NQH20.



Fuente: Elaboración propia.

Tras realizar la primera diferencia, recogida en el gráfico 5, podemos observar cierta estacionariedad de la serie, pero sin llegar a unos niveles claros, por los que gráficamente nos lleve a la conclusión de estar ante una serie estacionaria en media y varianza. Por ello, se opta, nuevamente, por realizar el Test de Dickey-Fuller aumentado, para obtener pruebas concluyentes de si nos encontramos ante una serie estacionaria o no:

Tabla 4. Test de Dickey-Fuller aumentado sobre la 1ª diferencia del logaritmo natural sobre la serie original.

Null Hypothesis: D(L_PRECIO) has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 4 (Automatic - based on SIC, maxlag=16)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.817023	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.981462	
5% level	-3.421241	
10% level	-3.133377	

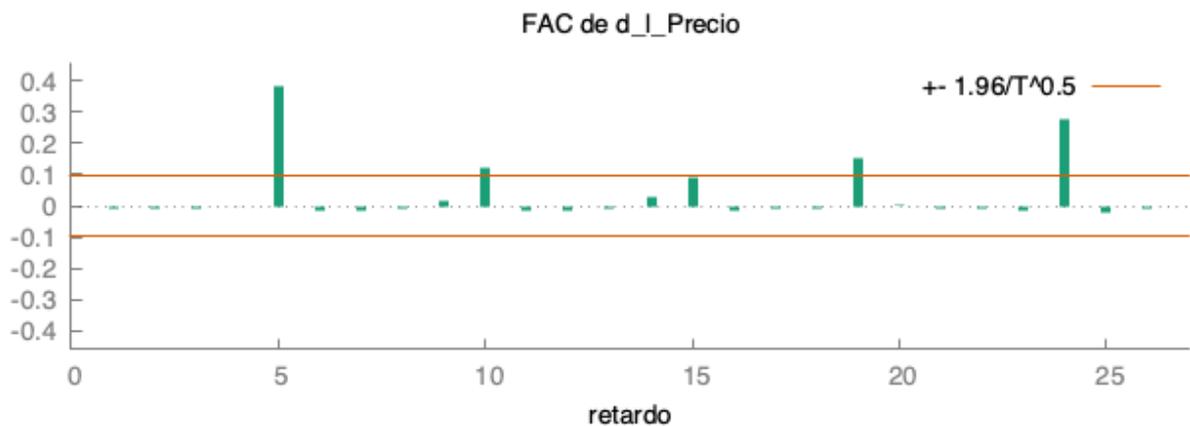
*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el Test de Dickey-Fuller sobre la primera diferencia del logaritmo natural de la serie, obtenemos un valor del estadístico (tDF=-5.817023), el cual es menor que el nivel crítico del 5%, por lo que, podemos concluir, gracias al rechazo de H_0 , que ahora sí nos encontramos ante una serie estacionaria, tanto en media (logrado por la transformación a través de primera diferencia) y varianza (logrado a través del logaritmo natural de la serie).

Tras tener una serie estacionaria, $DLOG(\text{Precio})$, la siguiente cuestión a tratar es el valor que tomará el componente autorregresivo (AR) y la media móvil (MA) del modelo ARIMA a estimar, recogido en la primera fase de la metodología Box y Jenkins (2015).

Gráfico 6. Función de autocorrelación simple de la primera diferencia del logaritmo natural de la serie.



Fuente: Elaboración propia.

Si se observa el gráfico 6, la función de autocorrelación simple (FAC) arroja como valores más significativos los retardos 5, 10, 19 y 24, siendo estos los candidatos a componente autorregresivo del modelo ARIMA que deseamos.

Gráfico 7. Función de autocorrelación parcial de la primera diferencia del logaritmo natural de la serie.

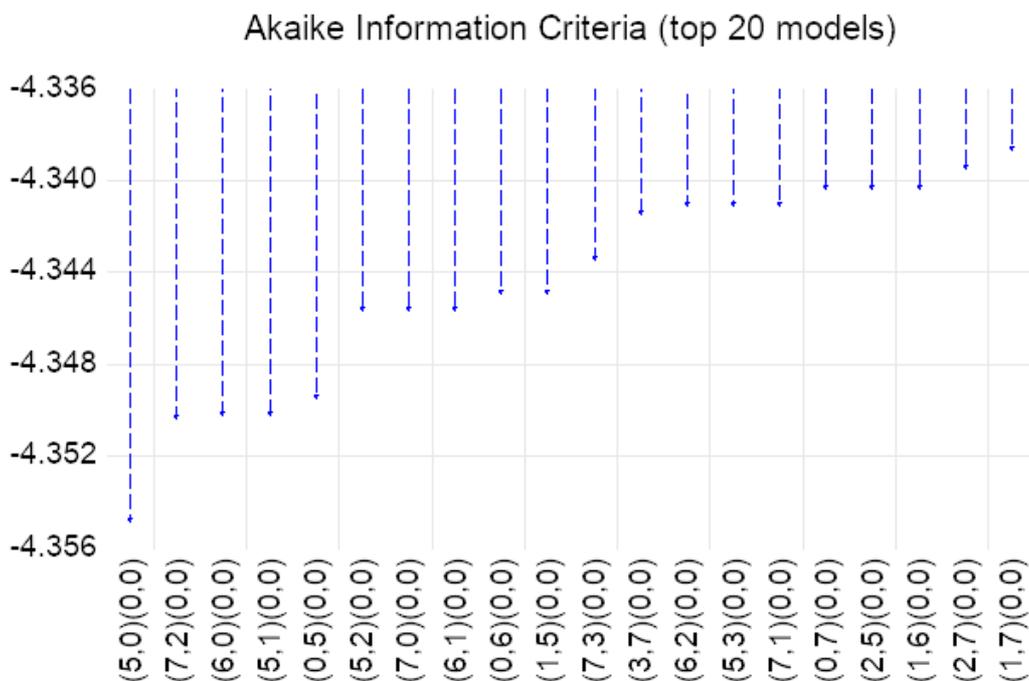


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la función de autocorrelación parcial, véase gráfico 7, nos determina que los retardos significativos para la serie analizada son: 5, 19 y 24, y, por tanto, estos son candidatos para tomarse como componente de media móvil del modelo.

Como ya se ha expuesto anteriormente, dentro de la fase 2 y 3 de la metodología encontramos la estimación y validación de los modelos. Con el fin de encontrar qué modelo es el más adecuado para la muestra del índice NQH2O, se compararon los candidatos a través del criterio de Akaike (AIC), donde los modelos con un menor valor de AIC son aquellos que mejor se ajustan a la muestra. Es relevante señalar que también entran como candidatos de componente autorregresivo y media móvil el retardo 0, ya que las funciones de autocorrelación presentadas no recogen el supuesto de no existencia de retardos. Para facilitar la labor comparativa entre los distintos modelos posibles, se ha utilizado la función automática ARIMA, donde el programa estadístico Eviews compara todos los modelos estimados posibles y arroja una comparación a través del criterio expuesto anteriormente, AIC, como podemos observar en el gráfico 8. Es de señalar que la estimación de los coeficientes se ha llevado a cabo a través del método de máxima verosimilitud.

Gráfico 8. Comparativa de modelos basados en la herramienta Automatic Arima.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el modelo más adecuado para la muestra es el ARMA (5,0), o en nuestro caso, ARIMA (5,1,0), ya que recordemos que se ha diferenciado la serie una vez, y, por tanto, dicha diferencia podría recogerse dentro de un modelo ARIMA en la componente integrado (I) del mismo.

Tabla 5. Estadísticas del modelo ARIMA (5,1,0).

Dependent Variable: DLOG(PRECIO)
 Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)
 Date: 06/01/21 Time: 16:48
 Sample: 9/05/2019 5/25/2021
 Included observations: 434
 Convergence achieved after 4 iterations
 Coefficient covariance computed using outer product of gradients

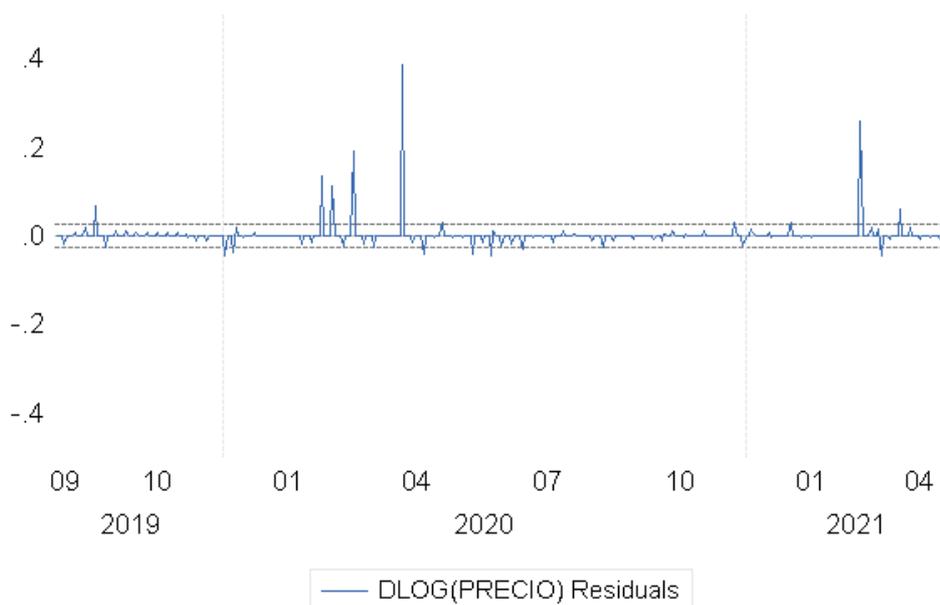
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(5)	0.389599	0.035812	10.87908	0.0000
SIGMASQ	0.000731	6.37E-06	114.7339	0.0000
R-squared	0.144872	Mean dependent var		0.003210
Adjusted R-squared	0.142892	S.D. dependent var		0.029267
S.E. of regression	0.027096	Akaike info criterion		-4.372399
Sum squared resid	0.317161	Schwarz criterion		-4.353629
Log likelihood	950.8105	Hannan-Quinn criter.		-4.364990
Durbin-Watson stat	2.010652			
Inverted AR Roots	.83 -.67-.49i	.26-.79i	.26+.79i	-.67+.49i

Fuente: Elaboración propia.

Visualizando la tabla 5, con las estadísticas principales del modelo, destacamos su bajo R^2 , el cual nos señala que el modelo explica la variabilidad de la serie original en tan solo un 14,48%, cifras que, en primera instancia, no consideramos adecuadas para realizar una predicción.

Dentro de la metodología Box y Jenkins (2015), como ya hemos comentado, en la fase de validación, los residuos del modelo toman un papel clave, ya que, para validarlo, estos deberán comportarse como un proceso de ruido blanco.

Gráfico 9. Residuos del modelo estimado ARIMA (5,1,0).



Fuente: Elaboración propia.

Graficando los residuos que arroja el modelo ARIMA (5,1,0) se puede determinar con certeza que no existe un comportamiento de ruido blanco, debido principalmente a los prominentes cambios de nivel que suceden en la serie original, siendo esto síntoma inequívoco de la baja representatividad, expresada a través del R^2 , que muestra el modelo respecto a la serie original. Por ello, se debe reajustar el modelo para que este sea válido para predecir el índice NQH2O. En este estudio en concreto, se ha optado por incluir en el modelo variables dicotómicas que recogen dichos cambios de nivel, específicamente se han incluido 6 variables dicotómicas², asociadas a aquellos errores de mayor valor, en búsqueda de un buen ajuste del modelo presentado. Para la introducción de las mencionadas variables dicotómicas procedemos a crear una serie por cada variable incluida, añadiendo ceros a todas las muestras y uno al error de mayor valor asociada a esa variable dicotómica, para posteriormente introducirlas en el modelo y verificar el comportamiento de ruido blanco en los residuos.

Tabla 6. Estadísticas del modelo ARIMA (5,1,0) con variables dicotómicas

Dependent Variable: DLOG(PRECIO)
 Method: ARMA Maximum Likelihood (BFGS)
 Date: 06/01/21 Time: 16:57
 Sample: 9/05/2019 5/25/2021
 Included observations: 434
 Convergence achieved after 6 iterations
 Coefficient covariance computed using outer product of gradients

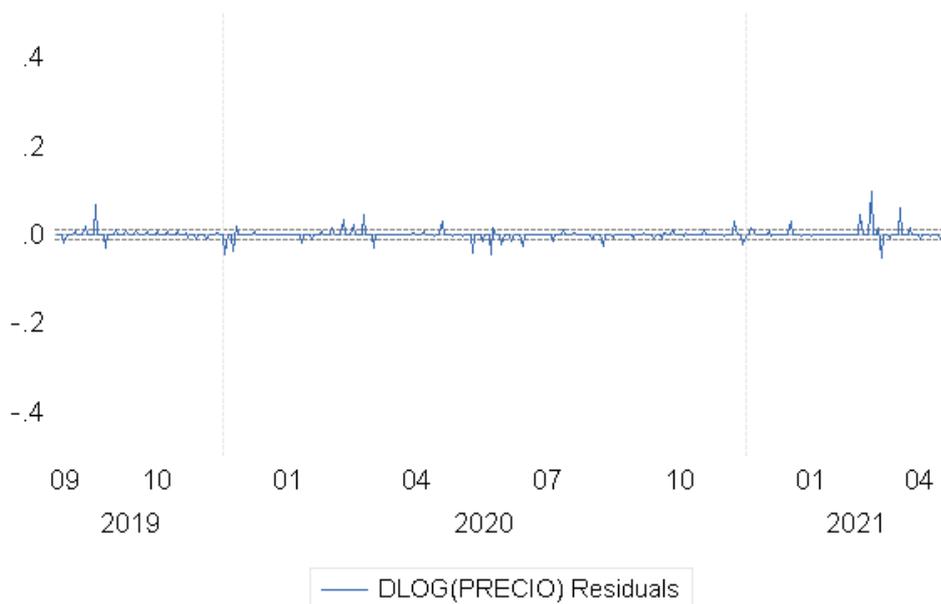
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D1	0.385199	0.047511	8.107516	0.0000
D2	0.169204	0.003649	46.36991	0.0000
D3	0.129078	0.012380	10.42629	0.0000
D4	0.145922	0.005579	26.15548	0.0000
D5	0.131113	0.021358	6.138808	0.0000
D6	0.214449	0.001965	109.1368	0.0000
AR(5)	0.449529	0.013067	34.40306	0.0000
SIGMASQ	0.000107	2.05E-06	52.08379	0.0000
R-squared	0.875168	Mean dependent var		0.003210
Adjusted R-squared	0.873117	S.D. dependent var		0.029267
S.E. of regression	0.010425	Akaike info criterion		-6.268326
Sum squared resid	0.046299	Schwarz criterion		-6.193247
Log likelihood	1368.227	Hannan-Quinn criter.		-6.238691
Durbin-Watson stat	2.084189			
Inverted AR Roots	.85	.26-.81i	.26+.81i	-.69-.50i
	-.69+.50i			

Fuente: Elaboración propia.

Ya con las variables incluidas y el modelo estimado, en la tabla 4 se observa que todas las variables añadidas son significativas en el modelo, y que, el comentado R^2 ahora si toma un valor óptimo, llegando a representar más del 87% de la variabilidad de la serie original, cifras que consideramos bastantes apropiadas para realizar una predicción con el modelo ARIMA expuesto.

² Véase anexo, tabla 7

Gráfico 10. Residuos del modelo estimado ARIMA (5,1,0) con variables dicotómicas.



Fuente: Elaboración propia.

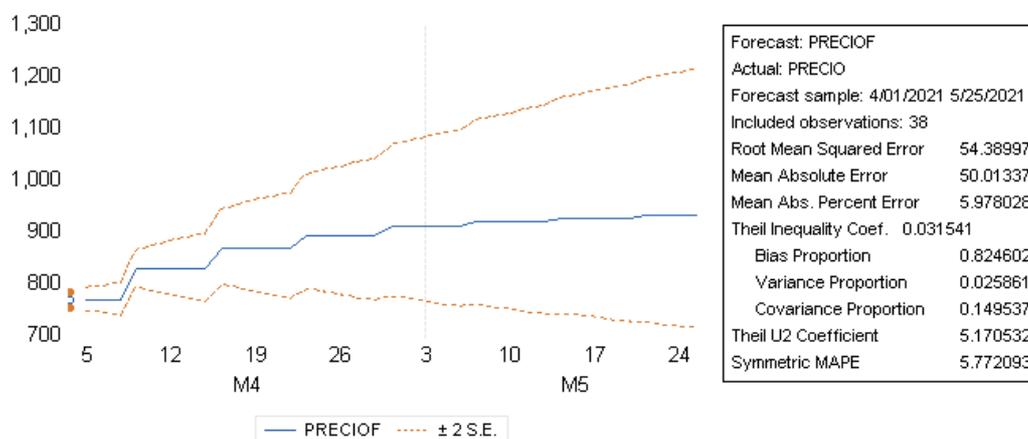
A su vez, si observamos el comportamiento de los residuos, ahora si se contempla un proceso de ruido blanco, donde los mismos se mueven alrededor de la media 0 y no existe autocorrelación entre ellos.

Con las etapas expuestas por Box y Jenkins (2015) realizadas, se puede determinar que el mejor modelo predictivo para la serie presentada del índice NQH2O se trata del ARIMA (5,1,0), con la inclusión de las variables dicotómicas expuestas.

En la última etapa, la predicción, se ha reducido la muestra, con el fin de observar eficazmente la capacidad predictiva del modelo expuesto.

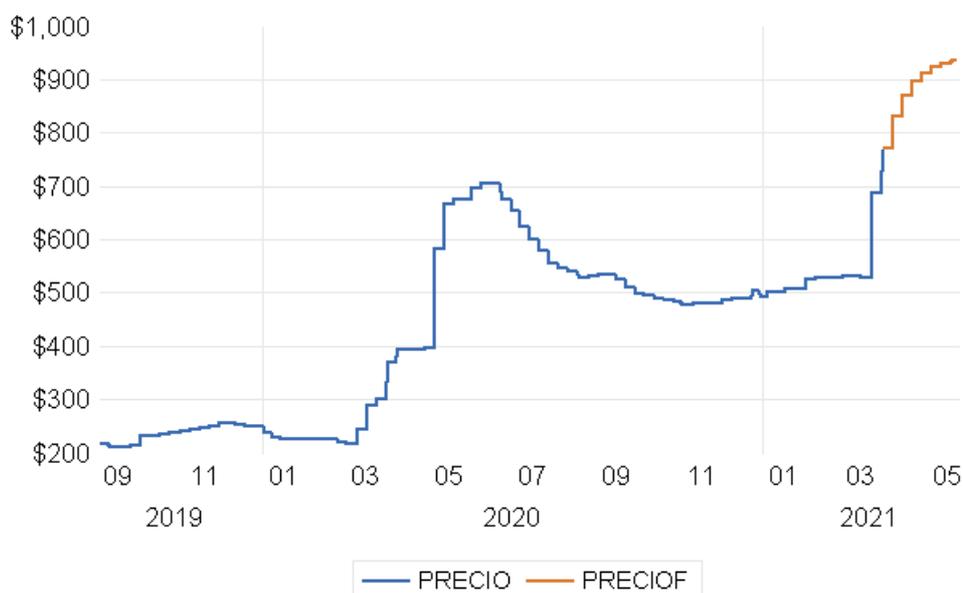
Por ello, se estima el modelo ARIMA (5,1,0) hasta el 1 de abril de 2021, con el fin de predecir los valores hasta finales de mayo.

Gráfico 11. Predicción dinámica del índice NQH2O hasta el 25 de mayo de 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12. Serie original y predicción dinámica del índice NQH2O hasta el 25 de mayo de 2021.



Fuente: Elaboración propia.

El trazo naranja reflejado en el gráfico 12 corresponde al pronóstico, realizado de forma dinámica, del precio del índice NQH2O. Si observamos el gráfico 11, podemos determinar, a través de los niveles de confianza, que el precio del índice NQH2O se moverá aproximadamente entre el intervalo de 700\$ a 1200\$ per acre pie, manteniendo la tendencia alcista que ha caracterizado a la serie desde sus inicios.

7. CONCLUSIONES

Durante los últimos tiempos, el agua ha sufrido una gran revalorización, observándose desde una perspectiva social, achacada principalmente por un mayor nivel de concienciación y un cambio en los patrones de consumo, en el que se contempla el agua como un bien preciado y escaso. En la actualidad, el agua ya es considerada como uno de los grandes retos a los que se enfrentan las generaciones actuales y futuras, pues no solo resulta ser un recurso vital, sino que también es necesario para el desarrollo de diversos factores de una economía. Es por ello, que el objetivo de conseguir un uso responsable y transparente del agua es una meta global, que debe conseguirse en cada una de las economías, fomentado por una conciencia social homogénea sobre la importancia de este recurso.

No es de extrañar los conflictos sociales y políticos que han surgido en los últimos años con los intereses de hacerse con el control de dicho recurso, donde se manifiestan discrepancias de las instituciones privadas y sus metas con la vertiente pública, como sucedió en Cochabamba, Bolivia, a comienzos de siglo, donde la privatización del agua potable local fue el detonante del conflicto. Por otro lado, debido al fenómeno del calentamiento global, ciertas zonas se han visto afectadas por las grandes sequías. Este caso de estrés hídrico se ve reflejado en la crisis del corredor seco, en Centroamérica, donde la escasez de agua ha provocado un deterioro, casi mortal, a la

economía agraria de la zona, provocando un gran empobrecimiento e intensificando el fenómeno migratorio en este área.

Con este contexto, se ve reflejada la importancia del agua, siendo piedra angular de los conflictos locales expuestos. Este tipo de conflictos pueden darse en un marco internacional, si no se frena la mala gestión hídrica y no se regularizan los intereses de empresas privadas por el agua.

Bajo estas premisas nace el índice Nasdaq Veles California Water (NQH2O) en 2018, con fin último de obtener una valoración correcta y justa de los derechos de agua del estado de California. En 2020, con el fin de que aquellas personas y empresas que necesitaban el agua para su actividad económica tuvieran un mercado equilibrado entre oferta y demanda, surgen los contratos de futuro del NQH2O.

Esta medida tomada en el estado de California puede servir de referente para aquellos países y zonas, donde el suministro de agua, o gestión de la misma, no sea el óptimo, y por tanto, se enfrenten a fenómenos como: la tensión hídrica, la escasez e incluso, la sequía.

En este estudio sobre el índice NQH2O, se ha cumplido con el objetivo de obtener un modelo predictivo óptimo, el cual pueda pronosticar los valores futuros de dicho índice. El modelo ARIMA(5,1,0) utilizado en esta investigación, ha arrojado unos buenos resultados, en términos estadísticos, por lo que serviría de utilidad a aquellos individuos que deseen realizar predicciones del NQH2O en periodos cortos, ya que los modelos ARIMA, dentro de los mercados financieros, no suelen presentar un comportamiento tan eficaz en periodos predictivos más amplios, debido a que el modelo no es capaz de recoger la aleatoriedad representativa de dichos mercados, reflejados en los cambios estructurales de una serie. Concretando a lo que el NQH2O se refiere, es difícil estimar un modelo predictivo con una alta eficacia, ya que como se ha comentado anteriormente, el índice, por su naturaleza, está expuesto en gran medida a factores externos, como las sequías o catástrofes naturales, influyendo directamente en su cotización bursátil.

Gracias a la predicción realizada a través del modelo ARIMA (5,1,0) y el estudio de la propia serie, se puede considerar válida la hipótesis expuesta anteriormente sobre la estacionalidad de dicho índice y sus contratos futuros, donde, en épocas de sequías en la zona de California, tanto el índice como los futuros inician un gran movimiento al alza, y crean, en cada ciclo alcista de sequía, un máximo más alto que el ciclo anterior. Adicionalmente, cabe destacar que no solo la sequía es partícipe en variaciones del precio del NQH2O, otras catástrofes naturales como los incendios forestales, comunes en el estado de California, crean un panorama en el que, debido a la gran demanda de agua, los precios del índice NQH2O y sus futuros tienden a subir repentinamente.

Tras el estudio realizado junto al modelo de predicción expuesto, y observando la alta demanda y aceptación del índice por parte de industrias como la agrícola, se considera que estos instrumentos financieros sobre el agua no son efímeros, sino algo que ha llegado para quedarse, debido a las características propias del producto negociado y las perspectivas futuras sobre problemas hídricos que atañerán a grandes países del mundo.

Basándose en la predicción expuesta, y el panorama global analizado, lleva a considerar la gran importancia que tomará el índice NQH2O en los próximos años, no sólo en términos monetarios

dentro del mercado, sino en utilidad real para el estado de California, llegando a las metas fijadas en su creación, y sirviendo como precursor para futuras aplicaciones del agua como *commodity* dentro de los mercados financieros.

Por tanto, este índice y sus respectivos futuros han llegado para resolver una problemática real en el estado de California, y no con fines lucrativos o políticos como se ha llegado a pensar, sino una forma de registrar y fijar un precio a las transacciones que suceden en el estado californiano. Como se ha comentado, este tipo de instrumentos financieros pueden ser aplicables a otras localizaciones, las cuales sufren problemas de escasez o suministro de agua, pero no creemos viable la creación de un cotización global para el mismo, como ya sucede con otros *commodities* como el oro o la plata, ya que, por las características propias de cada lugar, su tratamiento y la disponibilidad, no se podría llegar a un valor equitativo internacional.

En beneficio de futuras líneas de investigaciones, se cree, que con una muestra de mayor tamaño sería trascendental el estudio exhaustivo de la estacionalidad propuesta sobre el índice NQH₂O, dando lugar a un modelo de predicción autorregresivo integrado de media móvil con componente estacional (SARIMA).

A su vez, se cree conveniente el estudio de viabilidad de inclusión de este tipo de índices en aquellas zonas o regiones cuya actividad económica dependa directamente del recurso hídrico, o aquellas cuya incidencia de catástrofes naturales afecte en mayor medida al suministro de agua, siempre en búsqueda de la regularización de sus derechos y la transparencia de su uso.

BIBLIOGRAFÍA

Adell Ramón, R., y Romeo García, R. (1996). *Opciones y futuros financieros (Empresas y gestión: Activos y mercados financieros)*. Madrid: Pirámide.

Aguilera Klink, F. (2008). *La nueva economía del agua (Economía crítica y ecologismo social; 1)*. Madrid: Los libros de la catarata.

BBVA (2018, 26 febrero). ¿Qué son los mercados de futuros?. BBVA. Recuperado el 27 de febrero de 2021 de <https://www.bbva.com/es/que-son-los-mercados-de-futuros/>

Box, GE, Jenkins, GM, Reinsel, GC y Ljung, GM (2015). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Hoboken: John Wiley & Sons.

Box, G., y Jenkins, G. (1976). *Time series analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden Day

CME Group. (2016, enero). Guía de autoestudio sobre Cobertura con Futuros y Opciones de Granos y Oleaginosas. Recuperado el 27 de febrero de 2021 de https://www.cmegroup.com/trading/agricultural/files/AC216_GrainOilseed_Hedging_Guide_SPN.PDF

Costa Ran, L., y Font Vilalta, M. (1993). *Commodities: Mercados financieros sobre Materias Primas (Colección Empresa)*. Madrid: ESIC Editorial.

Cruz García, M. y Bazarte Martínez, A. (2014). Análisis del precio de la plata: su potencialidad como commodity. *Análisis Económico*, XXIX (70), 129-144. Recuperado el 1 de marzo de 2021 de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41331851007>

Dickey, D. A., y Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431.

de Morales, H. D. (2008). La nueva dinámica del mercado de los commodities. *Revista Tópicos Económicos*. Banco Central de Reserva de El Salvador, (7).

García, A. A. (2019, 10 diciembre). Análisis y Estimación de Series de Precios Utilizando Modelos ARIMA. QuantSpace. Recuperado el 20 de marzo de 2021 de <https://quantspace.es/2019/12/09/analisis-y-estimacion-de-series-de-precios-utilizando-modelos-arima/>

González Casimiro, M. P. (2009). Análisis de series temporales: Modelos ARIMA. Recuperado el 20 de marzo de 2021 de <http://hdl.handle.net/10810/12492>

Hull, J.C. (2014). *Introducción a los mercados de futuros y opciones (8a. ed.)*. Buenos Aires: Pearson Educación.

Martín Marín, J., y Trujillo Ponce, A. (2004). *Manual de los mercados financieros*. Madrid: Thomson.

MEFF (Sociedad Hólding de Productos Financieros Derivados). (1995). *Manual de opciones y futuros (2.ª ed.)*. Inversor. Recuperado el 25 de marzo del 2021 de http://ocw.uc3m.es/economia-financiera-y-contabilidad/financiacion-internacional/lecturas-complementarias/OPMANUAL_MANUALCOMPLETO.pdf

Mishra, B., & Debasish, S. S. (2009). *Financial derivatives*. Excel Books India.

Mohammad, H., y Adam, T. O. (2021, 4 enero). Forecast & Analysis on Water Futures. Orchid Global Markets. Recuperado el 10 de marzo del 2021 <https://orchidglobalmarkets.org/2021/01/04/forecast-analysis-on-water-futures/>

Sáez del Castillo, A., y Doblado, C. (2013). *Mercados financieros: Todos por una causa*. Madrid: Dykinson.

Said, S. E., y Dickey, D. A. (1984). Testing for unit roots in autoregressive-moving average models of unknown order. *Biometrika*, 71(3), 599-607. <https://doi.org.accedys2.bbt.k.uil.es/10.2307/2336570>

Sergio Valverde Group. (2021, 19 enero). Explicación a la creación del futuro del agua de California. Investing.com Español. Recuperado el 27 de febrero de 2021 de <https://es.investing.com/analysis/explicacion-a-la-creacion-del-futuro-del-agua-de-california-200440822>

Sierralta Rios, A. (1993). Los Contratos de «Commodities». *Thémis*, 25. Recuperado el 1 de marzo de 2021 de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/themis/article/view/11061/11573>

Tularam, G. A., & Saeed, T. (2016). The use of exponential smoothing (ES), Holts and Winter (HW) and Arima models in oil price analysis. *International Journal of Mathematics, Game Theory, and Algebra*, 25(1), 13-22.

Van Hoang, T.H. y Syed, Q.R. (2021). Investor sentiment and volatility prediction of currencies and commodities during the COVID-19 pandemic. *Asian Economics Letters*, 1 (4), 1-6. <https://doi.org/10.46557/001c.18642>

Villada, F., Muñoz, N., y García-Quintero, E. (2016). Redes neuronales artificiales aplicadas a la predicción del precio del oro. *Información tecnológica*, 27(5), 143-150.

Wada, Y. et al. (2016). Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFS) initiative and its approaches. *Geosci. Model Dev.* 9, 175–222.

ANEXO

Tabla 7. Variables dicotómicas creadas e incluidas en el modelo predictivo.

Nombre de la variable	Descripción
D1	Variable dicotómica asociada a la muestra 06/05/2020
D2	Variable dicotómica asociada a la muestra 01/04/2020
D3	Variable dicotómica asociada a la muestra 11/03/2020
D4	Variable dicotómica asociada a la muestra 18/03/2020
D5	Variable dicotómica asociada a la muestra 13/05/2020
D6	Variable dicotómica asociada a la muestra 24/03/2021

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Valores de la predicción

Fecha	Predicción
4/01/2021	772.1000000
4/05/2021	772.1000000
4/06/2021	772.1000000
4/07/2021	772.1000000
4/08/2021	831.4937667
4/09/2021	831.4937667
4/12/2021	831.4937667
4/13/2021	831.4937667
4/14/2021	831.4937667
4/15/2021	870.9741625

4/16/2021	870.9741625
4/19/2021	870.9741625
4/20/2021	870.9741625
4/21/2021	870.9741625
4/22/2021	896.6350326
4/23/2021	896.6350326
4/26/2021	896.6350326
4/27/2021	896.6350326
4/28/2021	896.6350326
4/29/2021	913.0806141
4/30/2021	913.0806141
5/03/2021	913.0806141
5/04/2021	913.0806141
5/05/2021	913.0806141
5/06/2021	923.5277667
5/07/2021	923.5277667
5/10/2021	923.5277667
5/11/2021	923.5277667
5/12/2021	923.5277667
5/13/2021	930.1278358
5/14/2021	930.1278358
5/17/2021	930.1278358
5/18/2021	930.1278358
5/19/2021	930.1278358
5/20/2021	934.2830881

5/21/2021	934.2830881
5/24/2021	934.2830881
5/25/2021	934.2830881

Fuente: Elaboración propia.