



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y
EMPRESARIALES**

INVERSIONES Y TOKENIZACIÓN:

Análisis del mercado de NFTs

Autor: Jorge Sánchez-Vellosillo Fuertes
5º E-3 ANALTICS

Tutor: María Coronado Vaca

Madrid | Junio 2022

RESUMEN

Hoy en día, se están pudiendo observar cada vez más modificaciones en la asignación de activos de inversores tanto particulares como institucionales, que desplazan sus patrimonios de las inversiones tradicionales como son la renta fija y variable, hacia universos de inversión como los de los activos alternativos, que parecen ofrecer rentabilidades más interesantes así como diversificación en los portfolios. Esto se debe fundamentalmente, no solo al entorno de bajos tipos de interés en el que nos encontramos, si no también a la cada vez mayor volatilidad en los mercados. Sin embargo, estas clases de activos se caracterizan por ser menos líquidas, menos accesibles y menos transparentes. Así las cosas, la tokenización puede generar un impacto beneficioso para los inversores en tanto que, mediante el empleo de la novedosa tecnología Blockchain y los contratos inteligentes, pueden contribuir a la democratización de este tipo de inversiones. La tecnología Blockchain está transformando la forma en que se emiten, negocian y liquidan los activos de manera que será igualmente pertinente estudiar la evolución y desarrollo de los Security Token Offerings, como activos criptográficos que otorgan derechos económicos sobre compañías, así como la necesidad de un mercado secundario accesible y eficiente que garantice la prosperidad de la democratización de los activos privados ilíquidos. Por su parte, durante el último año ha quedado patente la gran popularidad del mercado de los NFTs, caracterizados por su unicidad, de manera que se ha considerado necesario estudiar por un lado, los usos, potenciales aplicaciones y desafíos que plantean y, por otro lado, su cualidad como activo invertible y su volátil mercado mediante la realización de un análisis empírico por medio de la implementación de una serie temporal.

PALABRAS CLAVE: Activos alternativos, tokenización, Blockchain, contratos inteligentes, democratización, Security Token Offering, ilíquido.

ABSTRACT

Nowadays, we are seeing more and more changes in the asset allocation of both individual and institutional investors, who are shifting their assets from traditional investments such as fixed income and equities to investment universes such as alternative assets, which seem to offer more interesting returns as well as portfolio diversification. This is mainly due not only to the low interest rate environment in which we find ourselves, but also to the increasing volatility in the markets. However, these asset classes are characterized by being less liquid, less accessible and less transparent. This being the case, tokenization can generate a beneficial impact for investors by, through the use of novel Blockchain technology and smart contracts, contributing to the democratization of this type of investment. Blockchain technology is transforming the way in which assets are issued, traded and settled in such a way that it will also be relevant to study the evolution and development of Security Token Offerings, as cryptographic assets that grant economic rights over companies, as well as the need for an accessible and efficient secondary market that guarantees the prosperity of the democratization of illiquid private assets. On the other hand, during the last year, the great popularity of the NFTs market, characterized by its uniqueness, has become evident. Therefore, it is necessary to study, on the one hand, the uses, potential applications and challenges they pose and, on the other hand, their quality as an investable asset and their volatile market by carrying out an empirical analysis through the implementation of a time series.

KEY WORDS: Alternative assets, tokenization, Blockchain, smart contracts, democratization, Security Token Offering, illiquid.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- STO: Security Token Offering
- NFT: Non Fungible Token
- CAIA: Chartered Alternative Investment Analyst
- OPV: Oferta Pública de Venta
- ICO: Initial Coin Offering
- REIT: Real Estate Investment Trust
- DLT: Distributed Ledger Technology
- PE: Private Equity
- INVN: Independent Node Verification Network
- PASTO: Private Asset Security Token Offering
- ERC: Ethereum Request for Comment
- DeFi: Decentralized Finance
- BIC: Bayesian Information Criterion
- RSS: Residual Sum of Squares
- ARIMA: Autoregressive Integrated Moving Average
- AIC: Akaike Information Criterion
- AUM: Assets Under Management

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	8
1. Objetivos	8
2. Metodología	8
3. Estado de la cuestión.....	9
4. Estructura	10
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE.....	11
CAPÍTULO III: INVERSIONES ALTERNATIVAS Y TOKENIZACIÓN.....	13
1.- Desarrollo de las inversiones alternativas.	13
2. Tokenización y Security Token Offering	16
CAPÍTULO IV: LA TOKENIZACIÓN EN INVERSIONES ALTERNATIVAS.....	18
1.- Private Equity	18
2.- Real Estate	19
3.- Necesidad de un fuerte mercado secundario	21
CAPÍTULO V: Non Fungible Tokens.....	24
1.- Usos y potenciales aplicaciones de los NFTs.....	25
2.- Desafíos de los NFTs.....	29
3.- Análisis del mercado de los NFTs.....	31
CAPÍTULO VI: ESTUDIO EMPÍRICO.....	38
1. Datos	38
2. Metodología	38
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXO	55
1. Código R.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo de las inversiones alternativas por subclases.....	14
Figura 2. Espectro de los potenciales beneficios que ofrece la inversión en activos alternativos.	14
Figura 3. Evolución mensual de los precios de venta de CryptoPunks y del término buscado “Ethereum” según Google SVI.	33
Figura 4. Serie temporal del volumen de ventas de NFTs.....	39
Figura 5. Componentes de la serie temporal.	40
Figura 6. Representación del número de cambios de nivel en función de BIC y RSS. .	41
Figura 7. Representación del cambio de nivel mediante la función “breakpoints”.....	42
Figura 8. Representación del escalón.	43
Figura 9. Función de autocorrelación simple y función de autocorrelación parcial.....	44
Figura 10. Representación de los valores atípicos de la serie temporal.	45
Figura 11. Representación de dos cambios de nivel erróneos.....	46
Figura 12. Representación de la predicción.	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación del comportamiento de distintos activos durante el tiempo transcurrido entre junio de 2018 y mayo de 2021.	35
Tabla 2. Correlación de los rendimientos.	36

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Objetivos

El presente trabajo, tiene dos objetivos principales y uno secundario. Como primer objetivo principal, se busca poner de manifiesto el auge protagonizado por las inversiones alternativas en los últimos años así como sus altas expectativas de crecimiento. Asimismo trata de analizar como la tokenización, por medio del uso de la novedosa tecnología Blockchain, ofrece potenciar el desarrollo de esta clase de activos de inversión.

Como objetivo secundario, analizamos las Security Token Offerings, por su vinculación con el primer objetivo principal y por su reciente aparición, siendo muy poco conocidas y tratadas. Éstas se configuran como la oferta de activos digitales que representan la propiedad de valores financieros tradicionales. Así, se buscará demostrar como las STOs abren una plataforma y un ecosistema innovadores que permiten a los emisores recaudar fondos y a los inversores invertir en proyectos empresariales. Con el uso de la tecnología Blockchain y los contratos inteligentes, los mercados, los emisores y los inversores se benefician de mayores oportunidades de recaudación de fondos e inversión, en particular mediante la mejora de la liquidez.

Por último, como segundo objetivo principal, se pretende llevar a cabo un estudio exhaustivo acerca de los Tokens no Fungibles (NFTs) y las potenciales oportunidades que ofrecen, con el fin de demostrar si efectivamente esta nueva clase de activo ofrece oportunidades interesantes y útiles en un futuro o si incluso se podría incardinar dentro del universo de las inversiones alternativas, en el caso ofrecer rentabilidades atractivas y diversificación a los portfolios de los inversores.

2. Metodología

El enfoque general de la investigación es inductivo, llevándose a cabo la aplicación de un método cualitativo, en tanto que la elaboración de la misma se basa en el análisis y

observación de numerosos estudios y trabajos relacionados con los distintos objetivos propuestos.

Destacar como el análisis relacionado con las inversiones alternativas y la tokenización es puramente teórico. En cuanto al estudio de los NFTs, se ha llevado a cabo un estudio teórico a cerca de los mismos, analizando por un lado sus características, potenciales usos y desafíos que plantean, así como la evolución de su mercado en los últimos años. Por otro lado, se ha considerado pertinente la realización de un estudio de mercado por medio de una serie temporal realizada con la herramienta R, que mide el volumen de ventas en los últimos años, con el fin de observar el rápido interés que este activo ha suscitado entre los inversores.

3. Estado de la cuestión

En el mundo digital y globalizado de hoy en día, las empresas e instituciones financieras están experimentando fuertes presiones para que lleven a cabo reducciones de costes y optimicen sus negocios. Así las cosas, las soluciones se buscan en el espacio de las tecnologías emergentes como Blockchain. Sin embargo, la adopción de estas novedosas tecnologías requieren de un conocimiento más profundo tanto en el aspecto técnico como en relación con las implicaciones asociadas a las mismas (Beck, Avital, Rossi y Thatcher, 2017).

Por ello, desde su nacimiento en 2008 con el proyecto Bitcoin, la tecnología así como las aplicaciones relacionadas con la misma, han experimentado un rápido desarrollo. Sin embargo, a pesar de tan rápido desarrollo, queda mucho camino por recorrer, tanto desde una perspectiva económica como jurídica. La tokenización de activos se encuentra todavía en su fase inicial, aunque es cierto que cada vez se observan mas casos de implementación de esta idea. Al final, la aplicación responsable de cualquier nueva tecnología requiere tiempo para garantizar la integridad del mercado.

En cuanto a la evolución de los NFTs, destacar como a penas existen estudios del mercado y de las potenciales utilidades de los mismos. De hecho, los pocos análisis relacionados con la evolución del mercado de los mismos, se encuentran incluidos en la presente investigación.

4. Estructura

El trabajo se estructura en seis partes. En la primera se presentan los objetivos concretos de la investigación y la metodología a seguir, así como la situación actual del objeto de la investigación: la evolución de las inversiones alternativas, el desarrollo de la tokenización de activos junto con la tecnología subyacente que la caracteriza y el incipiente mercado de los NFTs.

Seguidamente se presenta la justificación, en la que se expone el crecimiento de las inversiones alternativas, así como su potencial relación con la tokenización y las ventajas que ofrece este proceso. Igualmente se introducen los NFTs como posibles activos alternativos que aporten rentabilidad y diversificación a los inversores. El tercer y cuarto punto presentan un desarrollo teórico a cerca de los distintos temas de estudio, las inversiones alternativas y la tokenización. Por su parte, el quinto y sexto apartado realizan el análisis teórico y práctico respectivamente del mercado de NFTs, encargándose éste último del desarrollo de una serie temporal del número de ventas de NFTs. Finalmente, se extraen las principales conclusiones.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

Las inversiones alternativas han protagonizado un destacable desarrollo en los últimos quince años, atrayendo cada vez más el interés de inversores tanto institucionales como minoristas (Black y Filbeck, 2020). Fundamentalmente, las inversiones alternativas se pueden definir como cualquier activo financiero que no entra en una categoría de inversión convencional, como las acciones, los bonos o el efectivo. Éstas incluyen hedge funds, capital privado, capital riesgo y deuda privada, así como activos reales como los bienes inmuebles, las infraestructuras y los recursos naturales (Anson, Chambers, Black, Kazemi y CAIA Association, 2012). Igualmente, cabe destacar las bellas artes, el vino y las antigüedades, junto con las inversiones alternativas de nueva generación, como las apuestas electrónicas y videojuegos.

Durante los quince años transcurridos entre 2003 y 2018 el tamaño del mercado de inversión mundial se duplicó, mientras que las inversiones alternativas casi se triplicaron hasta alcanzar los 13,4 billones de dólares. Esto significa que alrededor del 12% de todas las inversiones mundiales se destinaron a inversiones alternativas. En un entorno de tipos de interés bajos, el objetivo de los inversores era buscar diversificación, así como rentabilidades atractivas que no ofrecían los mercados públicos. De este modo, se espera que esta asignación aumente al 18-24% del mercado global de activos en 2025 (Black y Fillbeck, 2020).

Sin embargo, es cierto que estas clases de activos son menos líquidas, menos accesibles y menos transparentes en términos de información que los activos de inversión tradicionales. Estas desventajas parecen ser un objetivo perfecto para la tokenización, que resumidamente, se configura como el proceso de crear una representación digital de un activo no digital (Sazandrishvili, 2020).

En este sentido la tokenización, mediante el empleo de la tecnología Blockchain podría tener un impacto beneficioso significativo para todos los inversores y gestores de activos alternativos, pudiendo contribuir a democratizar esta clase de inversiones al facilitar el acceso a más inversores, al tiempo que permite a los gestores de activos innovar mediante la creación de tokens de activos alternativos, ampliando así su posible gama de productos.

La tokenización contribuye a abordar algunos de los retos inherentes de las clases de activos alternativos mediante cuatro características principales: Mejora de la liquidez,

transacciones más rápidas y baratas, mayor transparencia y ampliación de acceso a un mayor número de inversores a una clase de activos que anteriormente era difícilmente asequible (CAIA Association, 2021).

En ésta línea, y a medida que los inversores amplían cada vez más sus carteras en el mundo de las finanzas digitales, será interesante analizar el desarrollo de los Security Token Offerings (STOs) como representaciones digitales de los activos que los respaldan. Éstos combinan la tecnología Blockchain con los requisitos de los mercados de valores regulados para aportar liquidez a los activos y ofrecer una mayor disponibilidad de financiación (Arner et al., 2020).

Por último, no se puede obviar el extraordinario crecimiento que ha experimentado el mercado de los tokens no fungibles (NFTs), fundamentalmente a lo largo de 2021, lo que igualmente ha llamado la atención de aquellos inversores que buscan inversiones alternativas que ofrezcan mayores rentabilidades y diversificación en las carteras. Es cierto que el número de casos de uso existentes para los NFTs es todavía bastante limitado, sin embargo, también es muy prometedor. Por ello es pertinente llevar a cabo un estudio a cerca de su potencial y de los ambiciosos casos de uso que esta novedosa clase de activo promete.

CAPÍTULO III: INVERSIONES ALTERNATIVAS Y TOKENIZACIÓN

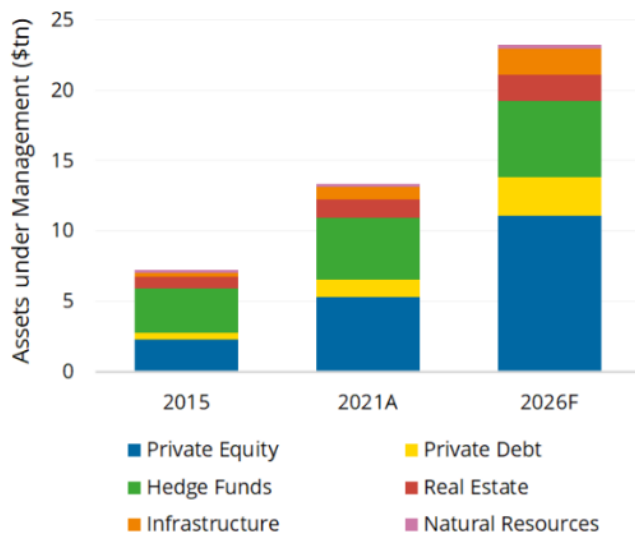
1.- Desarrollo de las inversiones alternativas.

Durante los últimos quince años, se ha observado cómo los inversores institucionales de todo el mundo parecen hacer los mismos movimientos coordinados en su asignación de activos. Hoy en día se puede observar una creciente diversificación en las carteras, al moverse los inversores del ámbito nacional al global, sustituyendo las inversiones tradicionales por las inversiones alternativas y buscando mejorar el rendimiento mediante el aumento del riesgo de crédito y el riesgo de liquidez en el ámbito de la renta fija (Black y Fillbeck, 2020).

Las dos razones clave para que los inversores modificaran su asignación de activos hacia el universo de las inversiones alternativas son esencialmente la reducción de riesgos y la mejora de rentabilidad en sus portfolios. De hecho, un estudio realizado por la Asociación de activos alternativos CAIA, reveló como los ingresos procedentes de la gestión de inversiones alternativas equivalen a cerca de la mitad del total recaudado por el sector de la gestión de activos a nivel mundial. Sin embargo, las inversiones alternativas sólo representan el 16% del total de activos gestionados. De cara al futuro, se prevé que para muchos gestores de activos, los ingresos procedentes de las inversiones alternativas crecerán considerablemente, contribuyendo así de forma significativa a sus ingresos (Black y Fillbeck, 2020).

En la Figura 1 se representa la evolución y desarrollo del mercado de las inversiones alternativas, pudiendo destacar como se prevé que los activos alternativos bajo gestión en 2026 alcancen los 23 billones de dólares.

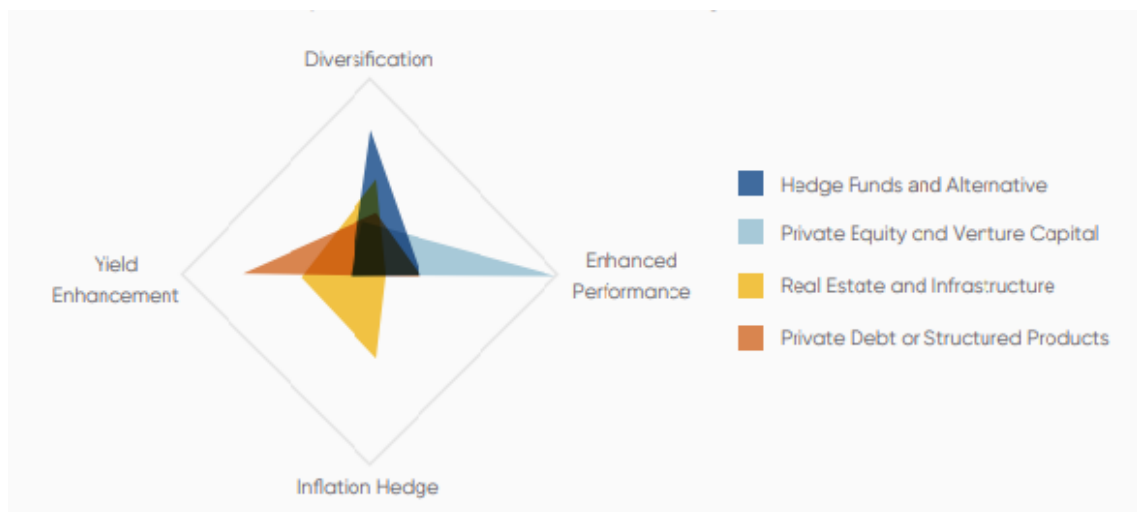
Figura 1. Desarrollo de las inversiones alternativas por subclases.



Fuente: (Preqin, 2022)

La Figura 2 muestra los distintos beneficios que impulsarán la demanda de inversores en inversiones alternativas. Por lo general, el capital privado y el capital riesgo son los principales impulsores de la mejora de la rentabilidad, mientras que la mayoría del resto de inversiones alternativas sirven para añadir diversificación y reducir el riesgo, destacando como el sector inmobiliario y de infraestructuras pueden servir como activo refugio en entornos inflacionarios como en el que nos encontramos ahora mismo.

Figura 2. Espectro de los potenciales beneficios que ofrece la inversión en activos alternativos.



Fuente: (Black y Filbeck, 2020)

Por lo tanto, es oportuno ver la creciente convergencia entre las empresas Fintech y las instituciones financieras, de manera que se lleve a cabo una mayor implementación de

soluciones tecnológicas que reduzcan costes y generen mayor eficiencia. En este sentido, un factor clave a tener en cuenta será la adaptación y el uso de la tecnología Blockchain.

Es pertinente detenerse aquí para llevar a cabo una visión general de la tecnología Blockchain. Ésta se configura como un libro mayor compartido e inmutable que facilita el proceso de registro de transacciones y de seguimiento de activos en una red de negocios. Además, todos los participantes de la red tienen acceso al mismo. De este modo, prácticamente cualquier objeto de valor puede ser rastreado y comercializado en una red de Blockchain, reduciendo el riesgo y los costos para todos los involucrados (Gupta, 2020).

Para acelerar las transacciones, entra en juego la figura del smart contract, como conjunto de reglas que se almacenan en la Blockchain y se ejecutan automáticamente. Se trata de un código informático visible por todos e inalterable que además ostenta la capacidad de autoejecutar acciones en relación a una serie de parámetros ya programados. Todo esto de forma completamente transparente y segura (Tian et al., 2020).

Entre los beneficios que ofrece Blockchain cabe destacar la confianza, la seguridad y la eficacia (Gupta, 2020).

La cadena de bloques está transformando la forma en que se emiten, negocian y liquidan los activos. Es aquí donde entraría en juego el concepto de tokenización. Directamente relacionado con este concepto, se encuentra la idea de democratización, de manera que se permite a un público inversor mayor el acceso a nuevas oportunidades de inversión. La tokenización convierte en líquido clases de activos que hasta ahora han sido ilíquidos, reduciendo así las barreras de entrada a las que se enfrentan numerosos inversores. Hasta la fecha, el acceso a inversiones alternativas lo protagonizan inversores institucionales, fondos soberanos, de pensiones y de jubilación o aquellos particulares de alto poder adquisitivo (inversores profesionales). Por lo general, los inversores minoristas no tienen acceso a inversiones alternativas (CAIA Association, 2021).

De esta manera, cabe destacar cuatro características esenciales que aporta la tokenización: Mejora de liquidez, en tanto los tokens pueden negociarse en mercados secundarios. Permiten transacciones más rápidas y baratas ya que una menor complejidad y una mayor eficiencia operativa reducen los costes de las transacciones y de vida útil. Igualmente, ofrecen una mayor transparencia debido a que los derechos del titular del token, las responsabilidades legales y el registro de la propiedad pueden integrarse en los tokens.

Por último, los tokens proporcionan acceso a un mayor número de inversores a una clase de activos anteriormente inasequibles o insuficientemente divisibles (Tian et al., 2020).

A modo de curiosidad, destacar también como la tokenización podría ofrecer potencialmente el acceso a nuevos tipos de activos, como el arte, el vino, o incluso los ingresos asociados a los equipos deportivos (CAIA Association, 2021).

2. Tokenización y Security Token Offering

De forma similar al concepto de Oferta Pública de Venta, una empresa puede recaudar fondos creando y emitiendo una nueva moneda a los inversores. Esta idea fue inicialmente puesta en práctica a través de las ICOs. Una ICO suele implicar la emisión de un activo virtual o token que puede utilizarse en una plataforma o dentro de un ecosistema que aún está por construir y que a su vez se intercambia por criptomonedas ya existentes (u ocasionalmente por su equivalente en dinero fiat). Las ICOs surgieron tras el éxito de la emisión mundial de Ethereum en 2015 (Mendelson, 2019).

En 2018 se produjo un descenso masivo de la popularidad de las ICO. La razón principal fue que la industria en su mayor parte empezó a estar infestada de numerosas estafas que dejaban a los inversores sin ningún recurso legal. Como resultado de esto, la comunidad global de criptomonedas comenzó a dirigir su atención hacia los STOs (ofertas de tokens de seguridad), principalmente porque ofrecían a los usuarios un mejor cumplimiento de la normativa, así como una mayor fiabilidad (Lambert, Liebau y Roosenboom, 2021).

Las STOs se configuran como representaciones digitales de los activos financieros que las respaldan. Esto fundamentalmente implica que una empresa emita tokens para que los inversores los compren con el objetivo de obtener un beneficio del trabajo de la empresa. Estos tokens, al igual que los valores tradicionales, tienen valor y están respaldados por los activos de la empresa que los emite.

Las STOs se pueden comparar con las OPVs. En las OPVs, las empresas privadas no necesitan la cadena de bloques cuando recaudan fondos y se convierten en empresas públicas cotizando en las bolsas de valores y emitiendo acciones a los inversores. Las STOs, sin embargo, utilizan la tecnología blockchain para emitir estos tokens de seguridad a los inversores.

En cuanto a las ventajas ofrecidas, las STOs abren una plataforma y un ecosistema innovadores que permiten a los emisores recaudar fondos y a los inversores invertir en proyectos empresariales. Con el uso de la tecnología Blockchain y los contratos inteligentes, los mercados, los emisores y los inversores se benefician de mayores oportunidades de recaudación de fondos e inversión, en particular mediante la mejora de la liquidez. Desde la perspectiva del emisor, se ofrece la oportunidad de llegar a los inversores de todo el mundo en un período de tiempo más corto, pudiendo éstos aprovechar oportunidades más allá de sus fronteras nacionales. Igualmente, las empresas relativamente pequeñas que no tienen acceso a la financiación de los bancos también pueden obtener fondos mediante este instrumento. Otro mérito de las STOs es que suelen costar menos que las OPV al no requerir necesariamente los servicios de los bancos, empresas jurídicas y empresas de corretaje¹.

Igualmente, los emisores pueden obtener liquidez sin vender todo el activo. Esto también es aplicable a los bienes inmuebles cuyo propietario podría vender una parte de su renta por medio de fichas de seguridad sin pasar por una compleja cotización como la de un REIT.

Dado que la información se almacena a través de tecnología de registro distribuido (DLT), en sistemas adecuadamente diseñados, los riesgos de fraude deberían reducirse gracias a las características de diseño centrales de permanencia, transparencia y seguridad (Kannengießer, Lins, Dehling y Sunyaev, 2019).

Además, a diferencia de lo que ocurre con las ICOs, los inversores de las STOs tienen cierto grado de protección, ya que los emisores están obligados a cumplir toda la normativa relativa a la emisión de valores. Se trata de una emisión de tokens digitales en un entorno de blockchain en forma de valores regulados. Este entorno mejora los objetivos reguladores de los valores de divulgación, equidad e integridad del mercado y apoya la innovación y la eficiencia a través de la automatización y los contratos inteligentes. Para poder venderse como valores a los inversores los tokens deben cumplir los requisitos de la leyes de valores aplicables, como por ejemplo el Securities Act of 1933 de Estados Unidos (Arner, McCormack, Han, Shi, Lo, Lui y Cheun, 2020).

¹ www.securitytokenoffering.com

CAPÍTULO IV: LA TOKENIZACIÓN EN INVERSIONES ALTERNATIVAS

Es interesante profundizar y analizar en concreto aquellos activos alternativos que ofrecen mayor potencial en relación con la tecnología Blockchain, estudiando el tamaño de su mercado, los retos que conlleva y cómo se aplicaría la tokenización en ellos, así como los distintos riesgos y limitaciones de la tokenización en relación con cada activo concreto.

1.- Private Equity

El Private Equity consiste en la aportación de recursos financieros a una empresa que generalmente no cotiza, durante un determinado período de tiempo. A cambio de dicha aportación se recibe una participación en la empresa de la que se espera un elevado crecimiento. La inversión en Private Equity está experimentando un gran desarrollo en los últimos años, alcanzando los activos de Private Equity bajo gestión los 9,8 billones de dólares en junio de 2021 (Quigley et al., 2022).

La tokenización supone una nueva frontera en la democratización del PE. Se trata del proceso de convertir las participaciones de capital riesgo en valores digitales negociables

A modo de ejemplo destacar ADDX, con sede en Singapur, como uno de los primeros en actuar en este ámbito. Fundada en 2017, la plataforma ha facilitado alrededor de 200 millones de dólares australianos (148 millones de dólares; 128 millones de euros) de transacciones hasta la fecha, de las cuales el 30% fueron en capital privado y capital de riesgo. Suele ofrecer a los inversores acreditados de fuera de Estados Unidos acceso a la clase de activos a partir de tan sólo 10.000 dólares, aunque esta cifra podría reducirse en el futuro.

El pasado septiembre, la plataforma asignaría 5.500 millones de euros al Global Value SICAV Fund de Partners Group (fondo de Private Equity). Esta asignación, permite a los inversores acreditados acceder a una cartera diversificada de más de 500 empresas y activos subyacentes con un importe mínimo de 10.000 dólares. El fondo (open-end fund) permite a los inversores suscribir o reembolsar unidades mensualmente, permitiendo además que los titulares de tokens ADDX negocien entre sí.

Se pone de manifiesto la tokenización como una nueva frontera en los mercados privados, pudiendo la tecnología contribuir a la democratización del sector. La capacidad de acceder a los mercados privados a estos bajos importes es un avance importante en la democratización del sector y, a más largo plazo, el potencial fraccionamiento de los tokens podría reducirse aún más (Lynn, 2021).

2.- Real Estate

Una clase de activo alternativo en la que tanto la digitalización como la tecnología Blockchain en concreto ha observado un gran potencial de desarrollo y oportunidad es el mercado inmobiliario, ya sea en el ámbito residencial, industrial o comercial.

La inversión en el mercado inmobiliario siempre ha representado un importante porcentaje de la riqueza así como un activo atractivo para los inversores. Dicha atracción hacia los inversores se debe a las interesantes rentabilidades que ofrece el activo y a sus fuertes expectativas de crecimiento y renovación. Igualmente, el activo posee un elevado potencial diversificador en los portfolios al estar poco correlacionados con los índices bursátiles y actuar como valor refugio contra la inflación.

La necesidad de implementar la tokenización digital de activos inmobiliarios individuales se debe a la falta de liquidez de los bienes inmuebles, además de que los inversores deberían poder participar en la propiedad de un universo más amplio de activos, hasta ahora limitado a los grandes inversores minoristas y a las instituciones, y a construir carteras diversificadas con cantidades de dinero más modestas.

El reto fundamentalmente consiste en, por un lado, que exista una demanda expresa para el fraccionamiento de los activos inmobiliarios individuales y, por otro lado, los participantes en el mercado deben sentirse cómodos con la tecnología blockchain (CAIA Association, 2021).

Cabe mencionar igualmente el coste de la fraccionalización y el coste de la tokenización. En muchos mercados de suelo (land markets), la fraccionalización requiere el establecimiento de una estructura intermedia porque la propiedad directa del suelo no puede dividirse en muchas partes. Incluso cuando no es así, es necesario llegar a un acuerdo sobre el control de los activos fraccionados. En aras de la seguridad y el control de riesgos, por no hablar de cumplimiento normativo, tiene sentido reproducir las

estructuras existentes que han demostrado controlar las inversiones fraccionadas. A nivel mundial, parecen ser sociedades, sociedades limitadas, fideicomisos o sistemas contractuales específicos (Baum, 2020, p.4).

Por lo tanto, cabe concluir como una estructura intermedia es conveniente y necesaria a la hora de fraccionar un solo activo, aumentando así el coste de la tokenización y reduciendo el grado de promoción de un ideal de democratización digital.

Por todo lo expuesto, parece claro que la tokenización tiene más posibilidades de progresar inmediatamente en el mundo de los fondos, donde esa estructura ya existe y ya hay una demanda expresa de fraccionamiento.

La inversión inmobiliaria adolece de iliquidez y rápido cambio. Ha habido intentos de superar estos problemas a través de innovación en el mercado primario y secundario, mediante mecanismos colaborativos de financiación con gran potencial como es el crowdfunding (Montgomery, Squires y Syed, 2018). Igualmente, es necesario mejorar los mecanismos de liquidez en los fondos inmobiliarios. Dicha iliquidez de la inversión inmobiliaria se ve reflejada en la lentitud de las transacciones y en los elevados costes de negociación. Sin duda, la clase de activos sería mucho más atractiva si pudiera negociarse rápidamente y a bajo coste. En este contexto, es pertinente destacar como las Fintech ofrecen oportunidades (Gupta, 2020).

El sector inmobiliario también adolece de "lumpiness", es decir, un alto valor por unidad y una distribución desigual de los valores, lo que limita una potencial demanda del activo y, al mismo tiempo, impide una diversificación eficaz. Como resultado, los inversores inmobiliarios generalmente se ven obligados a sufrir un riesgo no diversificable. Si los activos inmobiliarios pudieran unificarse fácilmente, o fraccionarse, seguramente mejorarían las características de riesgo-rendimiento de las carteras inmobiliarias típicas, mientras que al mismo tiempo, la liquidez del activo aumentaría. Una de las ventajas de la tecnología Blockchain, es el potencial para dividir los activos y facilitar o replicar las transacciones a través de un contrato inteligente (Baum, 2020).

Por lo tanto, la tecnología parece ofrecer la posibilidad de mercados más eficientes y profundos para los activos inmobiliarios (y otros privados). El mercado primario podría mejorarse mediante la introducción de una demanda más eficaz a través de la fraccionalización, con el apoyo de los contratos inteligentes, y el mercado secundario podría ser habilitado por los registros de propiedad basados en blockchain (Gupta, 2020).

La tokenización inmobiliaria es un término amplio y puede adoptar varias formas. Puede referirse a la representación de acciones en un fondo de inversión inmobiliaria (REITs) con tokens; o a la utilización de un token para representar una deuda garantizada por una sola propiedad; o a la conversión de una sola propiedad en un número determinado de tokens.

En cuanto a la clasificación de los tokens, cabe diferenciar entre los tokens de seguridad o de inversión y los tokens de utilidad. Dentro del mundo de los tokens de seguridad debemos hacer otra distinción entre los tokens de capital y los tokens de deuda (Freni, Ferro y Moncada, 2020).

Un token de utilidad, en cambio, ofrece al titular los derechos a un servicio específico, por ejemplo el acceso a un edificio, el uso de salas de reuniones almacenamiento en la nube, etc.

A modo de ejemplo, cabría mencionar los Aspencoins como tokens que representan la propiedad fraccionaria del lujoso Regis Aspen Resort en Colorado, EE.UU. Estos activos digitales se vendieron a los inversores a través de una oferta de tokens de seguridad (STO) que fue promovida originalmente por la empresa de crowdfunding Indiegogo y emitida por Templum. La oferta tuvo una valoración de 18 millones de dólares.

Otra de las primeras propiedades tokenizadas fue una plaza de aparcamiento en Tech Park Ljubljana (Eslovenia, UE). Según el informe del proyecto (Blocksquare, 2019), la pequeña propiedad había estado en el mercado durante casi 6 meses, mientras que la tokenización permitió al emisor venderla en 16 días e incluso crear una prima sobre la valoración.

Mencionar igualmente el primer fondo inmobiliario del mundo impulsado por tecnología blockchain, lanzado por Peakside Capital, el cual emplea la plataforma ScalingFunds de Brickblock para permitir a los inversores realizar sus inversiones en línea en una base de autocomprobación, lo que permite la negociación de acciones del fondo de forma casi instantánea (Baum, 2020).

3.- Necesidad de un fuerte mercado secundario

Una de las principales limitaciones que presentan las inversiones alternativas en general, independientemente de la clase concreta de la que se trate, es que la liquidez depende del funcionamiento del mercado secundario. Se requiere un mercado secundario con suficiente profundidad, es decir, que exista una alta demanda. Para alcanzar la prosperidad de la democratización de los activos privados, la existencia de un mercado secundario accesible y eficiente es fundamental. Es aquí donde considero pertinente traer a colación una carta de interpretación de la OCC (Office of the Comptroller of the Currency) sobre la autoridad de los bancos nacionales y las asociaciones federales de ahorro para utilizar redes de verificación de nodos independientes (INVN) y stablecoins para actividades de pago.

Un INVN consiste en una base de datos electrónica compartida en la que se almacenan copias de la misma información en varios ordenadores. Una forma común de un INVN es un libro de contabilidad distribuido. Las transacciones de criptomonedas se registran en estos libros de contabilidad. Los participantes de un INVN, conocidos como nodos, normalmente validan las transacciones, almacenan el historial de transacciones y transmiten datos a otros nodos (Alberts y Nofziger, 2021).

Por su parte, una stablecoin es un tipo de criptomoneda que está diseñada para tener un valor estable en comparación con otros tipos de criptomonedas. Algunas stablecoins están respaldadas por una moneda fíat, como el dólar estadounidense. Estas normalmente pueden cambiarse por la moneda fíat subyacente, donde una unidad de la stablecoin puede cambiarse por una unidad de la moneda fíat subyacente. En este sentido, la stablecoin representa un mecanismo para almacenar, transmitir e intercambiar el valor de la moneda fíat subyacente, todo lo cual es clave para facilitar las actividades de pago (Lyons y Viswanath-Natraj, 2020).

Los tribunales y la OCC reconocen desde hace tiempo que la función principal de los bancos es actuar como intermediarios financieros, facilitando el flujo de dinero y crédito entre las distintas partes de la economía.

La aparición de nuevas tecnologías para facilitar los pagos, apoyar las transacciones financieras y satisfacer las cambiantes necesidades financieras de la economía ha llevado a los bancos a exigir el uso de los INVN para llevar a cabo sus funciones tradicionales. Las cambiantes necesidades financieras de la economía están bien ilustradas por la creciente demanda en el mercado de pagos más rápidos y eficientes mediante el uso de

tecnologías descentralizadas, como los INVN, que validan y registran las transacciones financieras, incluidas las transacciones de stablecoin. Los participantes del sector reconocen que el uso de stablecoins para facilitar los pagos puede combinar la eficiencia y la velocidad de las monedas digitales con la estabilidad de las monedas existentes.

De este modo, que los bancos sirvan como nodos en los INVNs se configura como un nuevo medio para transmitir instrucciones de pagos y validar los mismos. En lugar de utilizar una entidad centralizada, los nodos de la red compartida validan las transferencias (OCC, 2021).

Así las cosas, esta carta de interpretación allana el camino a que los gestores de activos privados fomenten la tokenización de sus carteras y la introducción de PASTOs, introduciendo así una mayor eficiencia en el funcionamiento de los mercados secundarios (Ofori, 2021).

CAPÍTULO V: Non Fungible Tokens

En el espacio digital, es muy difícil distinguir un original de las innumerables copias que se pueden hacer con muy poco esfuerzo. Aunque no es un concepto nuevo, la protección del trabajo digital original se está convirtiendo en una realidad práctica mediante la adopción de tokens no fungibles (NFT). De hecho, los NFT entraron en la conciencia pública a principios de 2021 cuando el artista Mike Winkelmann, también conocido como Beeple, vendió un cuadro digital por 69 millones de dólares.

Desde entonces, la actividad de las transacciones de NFT se ha disparado, habiéndose producido durante el primer y segundo trimestre de 2021 más de un tercio del volumen histórico de transacciones de NFTs, 600 millones de dólares (Park, Kietzmann, Pitt y Dabirian, 2022).

Un token no fungible (NFT) es un activo criptográfico caracterizado por ser único e irrepetible. Gracias a la tecnología blockchain las propiedades de este token se pueden almacenar, haciendo posible certificar tanto la originalidad del activo como su propiedad. Esto se consigue mediante un smart contract, que abre además la posibilidad de su comercialización. Los NFTs se caracterizan por ser únicos, indivisibles, transferibles y con capacidad de probar su escasez. Con el fin de probar dichas características y facilitar la interoperabilidad de estos activos en las plataformas existentes (Decentraland u Opensea), se crearon diferentes estándares, siendo el más utilizado el ERC-721, de Ethereum, y el más reciente el ERC-1155 (Wang, Li, Wang y Chen, 2021).

El estándar más común y funcional de todos es el ERC-20, el cuál respalda tokens como ETH, permitiendo el intercambio de los mismos. Los tokens ERC-20 se caracterizan por ser fungibles. Este estándar fue el que estimuló el boom de las Initial Coin Offerings (ICOs).

Por otro lado, el estándar ERC-721 fue el primero para crear NFTs en la red Ethereum. Al no ser fungibles, no se puede intercambiar unos con otros, no se pueden sustituir. El estándar ERC-1155 surge como resultado de combinar la idea de token fungible (ERC-20) con token no fungible (ERC-721), pudiendo usar un solo Smart contract para crear distintos tipos de NFTs.

Hay que reconocer que el número de casos de uso existentes para los NFT es todavía bastante limitado. Sin embargo, también es muy prometedor. Por ello, considero

pertinente estudiar los ambiciosos casos de uso de los NFTs que aún no han alcanzado un número apreciable de usuarios.

1.- Usos y potenciales aplicaciones de los NFTs

Existe una gran expectación en torno a las ganancias en eficiencia que podrían obtenerse eliminando las autoridades centrales. En teoría, cualquier activo físico, podría representarse por un hash en la cadena de bloques, lo que permitiría un registro público y transparente de la propiedad del activo. Esto permitiría a vendedores y compradores realizar transacciones directamente y, en consecuencia, la duración de las transacciones y los costes de las mismas deberían disminuir (Wang, et al. 2021).

En primer lugar, los NFTs podrían alterar positivamente el panorama de la **salud digital** al dar a los pacientes un control sin precedentes sobre su información médica. A medida que nos adentramos en la era de la salud digital, las aplicaciones de salud personal ponen a disposición de los pacientes datos personalizados para que puedan ser más proactivos en la gestión de su salud. Sin embargo, generalmente estos datos personales son gestionados por las empresas que prestan estos servicios, quienes a menudo se benefician de ellos sin tener en cuenta a los pacientes, lo que representa una importante injusticia.

De este modo, si el verdadero cambio de paradigma de la sanidad digital -el de dar poder a los pacientes- tiene lugar, lo mismo debería aplicarse a la monetización de sus datos sanitarios, pudiendo los NFTs ser de gran utilidad en este sentido (TheMedicalFuturist Magazine, 2022).

Si los datos genéticos de los pacientes se acuñaran como NFT, la información además vendría con una característica inherente para ser rastreada, dotándola de una mayor seguridad, pudiendo además el propietario del NFT habilitar una función para ganar dinero cada vez que se produjere una transacción con los datos.

Destacar igualmente como las empresas que ofrecen servicios de salud digital podrían motivar a los pacientes a participar en estudios aportando sus datos y lucrándose con ellos. Otros terceros interesados en utilizar los datos para la investigación o el desarrollo de nuevos productos podrían dirigirse directamente a los pacientes en un mercado digital. La diferencia fundamental con respecto al enfoque tradicional es que los pacientes tendrían realmente la opción de compartir sus datos.

A través de la tecnología Blockchain, el uso de los datos de los pacientes podría ser más transparente, dotándolos además de control sobre sus registros sanitarios. Así las cosas, destacar como existen algunas startups que están explorando este potencial. Una de ellas es Airmedis, que cuenta con un mercado de NFT médica en el que los pacientes pueden participar en transacciones relacionadas con sus datos sanitarios.

Cabe atender igualmente a las oportunidades que podrían ofrecer los NFTs en relación con las **finanzas descentralizadas (DeFi)**. Brevemente, las finanzas descentralizadas se configuran como un sistema a través del cual los productos financieros se encuentran disponibles en una red Blockchain, sin necesidad de intermediarios para su funcionamiento. Los protocolos DeFi permiten la transferencia de valor sin la necesidad de agencias centralizadas como son los bancos. Se caracterizan en primer lugar por la ausencia de custodia en tanto que los usuarios conservan la custodia y el control sobre sus fondos de manera que la responsabilidad la ostenta el individuo. Igualmente se trata de un protocolo abierto, al estar accesible a todo el mundo y ser totalmente transparente, a diferencia de los sistemas financieros centralizados tradicionales. Esto permite ver y comprobar el código que alimenta los protocolos. Asimismo, destacar la componibilidad, al poder otros desarrolladores ver el código y compilar sobre él. Por último, los protocolos están basados en blockchains descentralizadas, como Ethereum y son ejecutados por nodos distribuidos (Parrondo, 2021).

Aunque hay algunos productos incipientes en esta categoría, DeFi está todavía en su fase inicial y su supuesta capacidad de interrumpir las instituciones financieras existentes está lejos de ser una realidad. Los especuladores han planteado que podrían crearse NFT para hipotecas individuales, que posteriormente podrían negociarse en los mercados secundarios. En teoría, este nuevo flujo de trabajo eliminaría la necesidad de que las partes centralizadas para emitir y titular las hipotecas. Sin embargo, requeriría coordinación masiva entre las comisiones de valores y otros organismos reguladores federales y locales, las instituciones financieras, los clientes y los emisores de hipotecas.

Un caso destacable de uso único que podrían tener los NFTs es en relación con la **gestión de cadenas de suministro**.

Para las soluciones complejas de gestión de la cadena de suministro, existen dificultades debido al reto técnico que supone la desmaterialización de los bienes móviles y físicos. Sin embargo, si una cadena de suministro simple y estrechamente integrada ya existe

entre un productor de bienes y un comprador, y desean implementar un sistema de seguro de registros digitales, una cadena de bloques es fácil de implementar. Cada bien que se transfiere puede representarse como una NFT en la cadena de bloques. Esto permitiría a las partes migrar a un sistema de gestión y de registros más eficiente y garantizar que cada vez que se transfiera el bien, la transferencia quede registrada de forma inmutable en una base de datos compartida (Park et al., 2022).

Por otro lado, no podemos olvidar el uso que hasta ahora ha resultado ser el más desarrollado, el **arte digital**. Éste es el contenido creativo que existe en el medio virtual o digital, que consiste en música, películas, pinturas, imágenes, etc. Al igual que su homólogo, el arte físico, puede ser vendido por los artistas y comprado por coleccionistas y entusiastas del arte. Sin embargo, también es susceptible de ser falsificado o robado. El uso de NFTs en este sentido adjunta un hash único con cada pieza de arte que permite su diferenciación.

Los artistas o autores de obras originales pueden incluir su firma en los tokens digitales, reforzando así la autenticidad del contenido producido. Aunque es posible hacer copias del arte digital, los NFTs garantizan que cada copia pertenezca exclusivamente al comprador.

La tokenización del arte digital por medio de los NFTs ha permitido a los artistas no sólo obtener más beneficios de las ventas de sus de su obra, sino también recibir un canon cada vez que su obra es transferida a un nuevo propietario. Así, los NFTs permiten nuevas vías para que los artistas sean recompensados por sus obras (Trautman, 2021).

Asimismo, las marcas de **moda** de lujo están aprovechando las características de propiedad única, permanencia y adquisición de derechos que permiten las NFT. Muchas marcas de moda utilizan su presencia online para ampliar su alcance, pero siguen siendo económicamente inaccesibles para las masas, lo que mantiene la demanda de artículos falsificados y replicados. Las empresas pierden grandes sumas de dinero por los artículos falsificados de sus marcas, cuyos efectos pueden evitarse con el uso de las NFT (Rehman, e Zainab, Imran y Bawany, 2021).

El uso de las NFT en la moda es todavía un concepto relativamente nuevo, pero tras la pandemia que supuso el cierre de las tiendas físicas durante un año aproximadamente, la industria de la moda está intentando adentrarse en el espacio tecnológico, habiendo

empezado ya algunas empresas a incorporar NFTs a sus artículos físicos para distinguir la propiedad y mantener la exclusividad.

Dado que la industria de la moda se basa en la venta de artículos físicos, es poco probable que las NFT sustituyan por completo a los mismos, pero supone una lucrativa oportunidad para que las empresas de moda de lujo la utilicen como extensión.

Por otro lado, destacar como los NFT asignados a **licencias y certificaciones** individuales pueden minimizar el tiempo y esfuerzo que las empresas tienen que dedicar a la verificación de documentación crítica, mejorando así las operaciones administrativas. Además, los institutos que expiden las licencias y los certificados pueden eliminar la carga de trabajo que supone el mantenimiento de registros, ya que cada documento tiene un NFT único cuya autenticidad puede comprobarse. La emisión de las licencias y certificados en la cadena de bloques los hace resistentes a la manipulación, lo que reduce la probabilidad de encontrar documentos fraudulentos (Rehman et al., 2021).

Un ejemplo de este caso de uso de NFT es Zastrin, empresa que vende cursos de programación en línea. La empresa utiliza NFT para comprar licencias de cursos y emitir certificados de finalización de los mismos.

En cuanto a la comunidad de jugadores y desarrolladores los NFTs han recibido una gran atención. Éstos pueden proporcionar datos de propiedad para objetos del juego, alimentar los sistemas económicos del mismo así como muchas otras ventajas para facilitar a los jugadores. Muchos juegos estandarizados permiten a los jugadores comprar diferentes artículos y objetos para el inventario. Sin embargo, si el objeto comprado es un NFT, el jugador podría reclamar el dinero vendiendo el objeto cuando ya no lo necesite. El jugador puede incluso generar beneficios si el valor de dicho artículo aumenta con el tiempo.

Este proceso no sólo beneficia a los jugadores, sino también a los desarrolladores. Cada vez que se vende un NFT en el mercado, los desarrolladores perciben un canon. Esto da lugar a un marco empresarial más beneficioso para la interdependencia, en el que tanto los jugadores como los desarrolladores se benefician del mercado intermedio de NFTs (Wang et al., 2021).

Por último, mencionar el mundo virtual en línea o metaverso, donde Blockchain presenta un excelente entorno descentralizado. En el mundo real, las organizaciones financieras disponen de diversos métodos para evaluar los activos. En orden a obtener una evaluación

adecuada, generalmente se requiere contratar a un auditor externo o a una agencia de calificación, lo que supone un procedimiento costoso. Como resultado, muchos activos siguen infravalorados incluso fuera de los límites del mercado, lo que hace que los propietarios de los activos pierdan la confianza. Sin embargo, en el mundo virtual, todo tipo de actividades digitales se basan en la tecnología blockchain, por lo que cualquiera que quiera comprar activos en un espacio virtual no tiene que preocuparse por la autenticidad de los mismos, ya que cada cambio de propiedad y dinero intercambiado queda completamente registrado en un contrato inteligente de Ethereum, lo que también evita la falta de confianza. Además, con su participación en varias iniciativas de tokens no fungibles, los creadores de contenidos, artistas y personalidades de diversas industrias han recibido mucha atención. Hay una variedad de plataformas que reflejan el mundo virtual, cada una con su propio mercado, como Decentraland, que es uno de los mundos virtuales más populares y también se conoce como metaverso (Dowling, 2022).

Se ofrece la posibilidad de albergar un juego en el que los visitantes puedan entrar y jugar, o una tienda que venda productos virtuales o reales. Tal vez un lugar donde la gente pueda escuchar un concierto privado o jugar en un casino utilizando la criptomoneda que tanto les ha costado ganar. MANA es el token de moneda virtual que se utiliza para pagar bienes y servicios en Decentraland.

2.- Desafíos de los NFTs

A la hora de analizar los desafíos y dificultades que plantean los NFTs, cabe comenzar evaluando los **derechos de propiedad** de un individuo sobre un determinado NFT. Es fundamental determinar si el vendedor posee realmente el NFT antes de realizar una compra, ya que se han dado casos en los que se han fotografiado o acuñado reproducciones de NFTs y como resultado, cuando se compra un NFT, el propietario sólo obtiene los derechos para utilizarlo, pero no los derechos de propiedad intelectual. Son los metadatos del contrato inteligente subyacente quienes contienen los términos y condiciones para poseer un NFT.

Por otro lado, el crecimiento del mundo digital, así como el número de transacciones de NFT, ha dado lugar a un aumento significativo de la ciberseguridad y del **riesgo de fraude**. La imitación a conocidos artistas de NFTs, el robo de derechos de autor, la copia

de NFT populares o falsos airdrops y los regalos de NFTs son otras de las principales amenazas y problemas de los tokens no fungibles en términos de ciberseguridad y fraude (Rehman et al., 2021).

Destacar los **problemas de seguridad y privacidad**, los cuales siguen siendo un reto crítico para cualquier solución tecnológica, considerándose una prioridad en todo sistema. Por otra parte, los datos corren el peligro de perder su vinculación o de ser malversados por personas no autorizadas. La privacidad de los NFTs sigue siendo objeto de estudio en este momento. La mayoría de las transacciones de NFT dependen de la plataforma Ethereum, que sólo proporciona un pseudoanonimato en lugar de un anonimato completo. Los usuarios pueden ocultar sus identidades hasta cierto punto si el público conoce los vínculos entre sus verdaderas identidades y las direcciones asociadas. En caso contrario, toda la actividad de los usuarios bajo la dirección expuesta es visible (Wang et al., 2021).

También el desarrollo y la seguridad de los contratos inteligentes son una de las preocupaciones fundamentales en el entorno de los NFTs. Recientemente, los piratas informáticos atacaron el famoso protocolo Poly Network de Finanzas Descentralizadas (DeFi), que proporciona interoperabilidad entre cadenas.

Por último, destacar como el aumento de la comprensión de los NFT está influyendo en que la gente invierta en la criptomoneda y en su tecnología, lo que está causando efectos perjudiciales para el **medio ambiente** (Truby, Brown, Dahdal y Ibrahim, 2022). Recientemente se ha estimado que Ethereum utiliza 44,94 teravatios-hora de electricidad al año, lo que equivale casi al consumo anual de energía de países como Qatar y Hungría². Igualmente, la cantidad total de electricidad utilizada en la minería de bitcoins es fácilmente comparable al uso de electricidad de países como Malasia y Suecia³. Según un estudio llevado a cabo en 2018, si las tecnologías basadas en la cadena de bloques se adoptan de forma tan generalizada como otras nuevas tecnologías, podrían elevar la temperatura de la Tierra dos grados centígrados por encima de los niveles históricos (Mora et al., 2018).

Por otro lado, los mineros de criptomonedas ya han sido considerados responsables de la escasez de energía en Irán y mencionar igualmente como Jiang et al. (2021) pusieron de manifiesto en su estudio como el consumo de energía de la tecnología Blockchain en

² <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>

³ <https://powercompare.co.uk/bitcoin>

China supera el total de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero de la República Checa y Qatar.

Los problemas de privacidad y seguridad son uno de los factores de riesgo más destacados de los múltiples casos de uso de las NFT. Todas las transacciones tienen lugar en Internet, donde la información relacionada con cada transacción es vulnerable al acceso y la explotación no autorizados. Por ello, cabe destacar como se están desarrollando tecnologías emergentes, como las pruebas de conocimiento cero (ZKP), que pueden resolver estos problemas en el futuro. ZKP es un mecanismo criptográfico que permite probar a otra parte atributos específicos sin revelarlos, como por ejemplo probar la edad del sujeto sin revelar la edad real. Las tecnologías basadas en la cadena de bloques presumen de una seguridad y una privacidad considerables, pero algunas ramificaciones de la tecnología no son completamente inmutables. El creciente interés de los usuarios por las criptomonedas ha llevado a la introducción de muchas plataformas para facilitar la novedosa moneda digital, como los monederos web (Rehman et al., 2021).

3.- Análisis del mercado de los NFTs

Un análisis interesante a llevar a cabo es el del comportamiento y evolución del mercado de los NFTs y su relación con la volatilidad que tanto los caracteriza. En definitiva, se busca determinar como de efectiva sería la inversión en esta nueva clase de activo. Sin embargo, cabe destacar antes de nada como hay una falta de investigación sobre los precios y el rendimiento financieros en el mercado de los NFTs.

En primer lugar, comenzar destacando como distintos estudios han puesto de manifiesto como las clases de activos singulares obtienen un rendimiento inferior al de las acciones, pero superan al de los bonos la mayor parte del tiempo (Mandel, 2009; Dimson, Rousseau y Spaenjers, 2015). Además, los rendimientos de estos activos únicos suelen ir acompañados de un riesgo mucho mayor medido por sus volatilidades, lo que los hace menos atractivos para los inversores.

Una vertiente de la literatura teórica sugiere que la posesión de activos únicos proporciona a los propietarios una utilidad no financiera. En particular, Mandel (2009) propone que el arte tiene una doble naturaleza como vehículo de inversión y como bien de consumo conspicuo. Por lo tanto, la rentabilidad puede descomponerse en la utilidad derivada de

la propiedad y las ganancias de capital de las reventas. Lovo y Spaenjers (2018) avanzan además que, en los mercados de subastas, la valoración de cada postor de una obra determinada es una función del flujo esperado de "dividendos emocionales" hasta la reventa y de los ingresos esperados de la reventa. El concepto de dividendos emocionales se propone debido a que los activos únicos (por ejemplo, pinturas o joyas) en sí mismos no generan ningún flujo de efectivo durante el período de tenencia, pero los propietarios pueden utilizar estos activos para señalar su estatus social u obtener reconocimiento social.

Por otro lado, existen trabajos teóricos sobre criptomonedas que sugieren que los efectos de red son esenciales para el éxito de las plataformas digitales y las ofertas iniciales de monedas. Un análisis más detallado revela que las adopciones de criptodivisas, como el crecimiento de usuarios de carteras, el crecimiento de direcciones activas, el crecimiento del recuento de transacciones y el crecimiento del recuento de pagos, son factores importantes para la valoración de las criptodivisas (Liu y Tsyvinski, 2021).

Del mismo modo, los precios de los NFTs podrían estar impulsados por las redes de usuarios (es decir, coleccionistas o inversores) en los mercados de NFT.

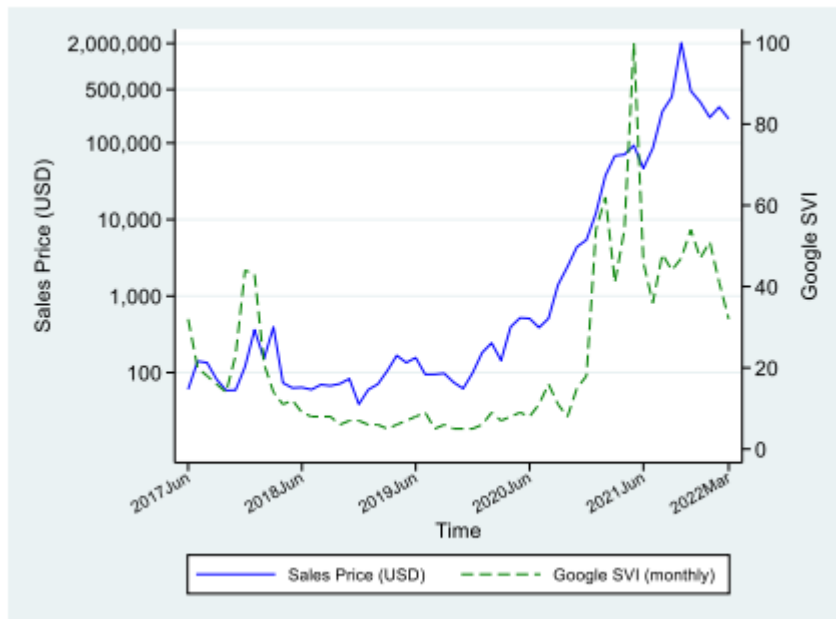
Destacar igualmente como investigaciones anteriores muestran que la atención de los inversores afecta a los precios de los activos (Huang, Huang y Lin, 2019). En una línea similar, los precios de los NFTs podrían estimularse cuando el público es más consciente de los mismos y de otras aplicaciones de blockchain (Ether, Bitcoin o stablecoins).

Una representación interesante realizada por el estudio es aquella que utiliza el Google Search Volume Index (SVI), acerca del tema "Ethereum" para captar la atención mundial prestada a los NFTs, ya que la mayoría de éstos se negocian en la Blockchain de Ethereum. Los datos se recogen de Google Trends, una herramienta web pública proporcionada por Google que muestra la frecuencia con la que se busca un término específico en relación con el volumen total de búsquedas en todo el mundo, en un rango de fechas definido que el usuario introduce.

La figura 3 muestra como los precios medios mensuales de venta de CryptoPunks se ajustan positivamente a la tendencia de las búsquedas en Google relacionadas con "Ethereum". Los CryptoPunks son 10.000 caracteres generados de forma única con prueba de propiedad almacenada en la cadena de bloques de Ethereum. Todos los CryptoPunks son imágenes de pixel de 24×24 que se inspiran en el ciberpunk. Este

proyecto de Larva Labs serviría de inspiración para el estándar ERC-721, el cuál fue diseñado con el objetivo de desarrollar tokens intercambiables que tuvieran la particularidad de ser únicos y no fungibles.

Figura 3. Evolución mensual de los precios de venta de CryptoPunks y del término buscado “Ethereum” según Google SVI.



Fuente: (Kong y Lin, 2022)

Este hallazgo sugiere que cuando hay más usuarios en los mercados de NFT, la actividad comercial se vuelve más activa en términos de número de ventas y capitalización del mercado (en USD).

En cuanto al mercado de NFTs, este observó un repunte repentino en la segunda mitad de 2020, al venderse una obra de arte NFT por 69 millones de dólares. Además, el volumen total de ventas de NFT en 2020 fue de 2.500 millones de USD, mientras que el volumen total de ventas de NFT en los primeros seis meses de 2021 superó los 10.700 millones de USD, indicando esto un cambio significativo en el crecimiento de los NFTs en un corto período de tiempo (Rehman et al., 2021).

En primer lugar, breve referencia cabe hacer al examen realizado por Dowling (2022) respecto de la fijación de precios NFT del metaverso de Decentraland. Aunque su estudio se centra principalmente en la eficiencia del mercado, la investigación de Dowling

muestra que los rendimientos semanales medios de la inversión en NFT entre marzo de 2019 y marzo de 2021 fue del 2,14% con una desviación estándar del 27,54%. No obstante, concluye que la fijación de precios sigue siendo ineficiente a pesar de un rápido aumento del valor. Esto se debe principalmente al hecho de que el mercado de NFT se encuentra en su fase inicial.

En otro de sus estudios, Dowling (2021) evaluó hasta qué punto los precios de los NFTs están relacionados con los precios de las criptomonedas o se ven influidos por ellos, concluyendo que existe una baja transmisión de la volatilidad, lo que sugiere que los NFTs son una clase de activos de baja correlación distinta de las criptodivisas. Sin embargo, sí se indica que hay movimientos conjuntos entre los dos mercados. Un estudio de Ante (2021) también sugiere que los mercados de Bitcoin y Ethereum influyen en el desarrollo de los mercados de NFTs.

Resulta igualmente interesante observar el mercado de arte y objetos de colección al tratarse éstos de activos homogéneos con características similares a las del mercado de NFTs. Ya Burton y Jacobsen (1999) afirmaban que la mayoría de datos de investigación dentro del mercado de objetos de colección mostraban rendimientos positivos por parte de los coleccionistas, aunque mucho más bajo que el de las acciones y con más riesgo. Además, se puso de manifiesto como los objetos de colección están negativamente correlacionados con el mercado de valores, pero sus rendimientos en los mercados bajistas son bajos y, por lo tanto, no parecen ser una buena opción de inversión cuando los precios de las acciones caen. Una consideración importante cuando se investiga el mercado del arte y los objetos de colección es que los beneficios psicológicos percibidos son factores clave en la toma de decisiones de los compradores.

Otros estudios han investigado el impacto de la exclusividad en el precio de los objetos raros, demostrando consecuentemente como repercute positivamente en él (Hughes, 2020). Por ello, Kampakis y Schaar (2021) concluyen en su estudio como la rareza es una variable importante en el análisis de la colección de los CryptoPunks.

Por su parte, Worthington y Higgs (2004) concluyeron en uno de sus estudios como el rendimiento de la inversión en arte es menor que la de los activos tradicionales, a pesar de que el riesgo es mayor, de manera que no se puede recomendar el arte como inversión financiera alternativa rentable, confirmando así la hipótesis de que el arte no tiene una buena tasa de rentabilidad ajustada al riesgo. De hecho, la única vez que el arte supera al

índice S&P 500 es durante los períodos de rendimientos negativos, lo que parece convertirlo en un activo seguro en tiempos de crisis (Zhukova et al., 2020).

Otra observación notable es que el rendimiento de CryptoPunks se disparó básicamente durante la pandemia mundial a pesar de la recesión mundial. Esto podría reflejar que las inversiones en arte y criptodivisas parecen un refugio seguro en tiempos de crisis financieras. Por tanto, es lógico que la diversificación de carteras con estos activos limita el riesgo en tiempos de incertidumbre. Sin embargo, el mercado de las NFT es demasiado nuevo para hacer afirmaciones sólidas sobre este tema.

Tabla 1. Comparación del comportamiento de distintos activos durante el tiempo transcurrido entre junio de 2018 y mayo de 2021.

	CryptoPunks	T-Bill	10-Year US Bond	World Equity	US Equity	Bitcoin	Ethereum	US Real Estate REIT
All-Time (06/2018 – 05/2021)								
Monthly Return Mean	34.19%	1.22%	-0.40%	1.16%	1.45%	7.61%	9.40%	1.02%
Standard Deviation	61.76%	1.00%	15.54%	5.27%	5.45%	22.80%	30.22%	5.48%
Sharpe Ratio	0.5338		-0.1041	-0.0113	0.0428	0.2806	0.2709	-0.0361
Year 1 (06/2018 – 05/2019)								
Monthly Return Mean	8.93%	2.25%	-2.38%	-0.08%	0.24%	5.37%	-0.54%	1.05%
Standard Deviation	21.76%	0.20%	6.95%	4.69%	5.16%	24.24%	29.29%	4.64%
Sharpe Ratio	0.3070		-0.6661	-0.4960	-0.3897	0.1288	-0.0954	-0.2597
Year 2 (06/2019 – 05/2020)								
Monthly Return Mean	18.61%	1.41%	-7.88%	0.60%	1.10%	2.49%	2.15%	-0.54%
Standard Deviation	46.20%	0.74%	15.70%	6.20%	6.42%	18.70%	26.38%	7.03%
Sharpe Ratio	0.3721		-0.5920	-0.1309	-0.0487	0.0576	0.0278	-0.2781
Year 3 (06/2020 – 05/2021)								
Monthly Return Mean	72.92%	0.07%	8.89%	2.84%	2.90%	14.79%	25.77%	2.55%
Standard Deviation	78.93%	0.04%	16.37%	4.21%	4.16%	23.35%	27.75%	3.70%
Sharpe Ratio	0.9230		0.5388	0.6576	0.6819	0.6304	0.9262	0.6707

Fuente: (Schaar y Kampakis, 2022).

La tabla 1 realiza una comparación de la rentabilidad generada por los CryptoPunks, las Letras del Tesoro a corto plazo de Estados Unidos, el bono a diez años de Estados Unidos, los índices bursátiles MSCI World y MSCI US, Bitcoin, Ethereum y el índice del mercado inmobiliario estadounidense. Durante el periodo de tiempo completo, el índice CryptoPunk supera a todos los otros activos, habiéndose revalorizado de media un 34,19% cada mes durante los tres años observados.

Además, el ratio de Sharpe, que mide la relación entre la rentabilidad y la desviación estándar del activo, es el más alto entre todos los activos, con 0.5338. Esto demuestra que,

aunque la desviación estándar es muy alta, con una tasa superior al 60%, ésta seguiría siendo la mejor inversión para elegir según la rentabilidad ajustada al riesgo. En el mismo periodo de tiempo, las criptomonedas Bitcoin y Ethereum se muestran superando a los activos más tradicionales, pero no presentan un rendimiento tan bueno como el de los CryptoPunks.

Sin embargo, destacar como las comisiones que se producen al comprar un NFT, denominadas comisiones de gas y las comisiones al comprar Ethereum no se pueden subestimar. Si sólo se tiene en cuenta su ROI, el mercado de NFT parece más atractivo que cualquier otra inversión comparable. Sin embargo, analizado la desviación típica queda claro que este mercado también es muy volátil. Aunque su ratio de Sharpe muestra una buena relación rendimiento-riesgo, los riesgos inherentes a un mercado irracional y altamente volátil no pueden ser subestimados.

A la hora de comparar la inversión en bienes físicos con aquella en bienes digitales heterogéneos, en base a lo expuesto, podría concluirse como los NFTs pueden ser una mejor inversión en comparación con, por ejemplo, las inversiones en el mercado del arte físico. Aunque ambas son inversiones de riesgo, la relación riesgo-rendimiento es mucho mejor en el mercado de las NFT. Aunque las tasas de rentabilidad son actualmente más altas, el mercado es también más accesible y transparente, y las transacciones pueden efectuarse mucho más rápido. Además, los inversores no tienen que preocuparse por los costes de espacio de almacenamiento y transporte, ya que todo es digital.

Tabla 2. Correlación de los rendimientos.

	Crypto-Punks	T-Bill	10-Year US Bond	World Equity	US Equity	Bitcoin	Ethereum	US Real Estate REIT
CryptoPunks	1.00							
T-Bill	-0.44	1.00						
10-Year US Bond	0.36	-0.27	1.00					
World Equity	0.04	-0.21	0.40	1.00				
US Equity	0.02	-0.21	0.38	0.99	1.00			
Bitcoin	0.36	-0.18	0.22	0.32	0.31	1.00		
Ethereum	0.26	-0.37	0.12	0.29	0.26	0.69	1.00	
US Real Estate REIT	0.13	-0.06	0.30	0.83	0.82	0.31	0.30	1.00

Fuente: (Schaar y Kampakis, 2022)

La tabla 2 muestra la matriz de correlación de los rendimientos de todos los activos. Las correlaciones entre los CryptoPunks y la Letra del Tesoro, el bono estadounidense a diez

años, Bitcoin y Ethereum son de $\pm 0,25$ o superior, lo que indica algunos movimientos conjuntos entre esos mercados. Esto apoya las conclusiones de Dowling (2021) que sugieren que los NFTs son una clase de activos de baja correlación que muestran algunos movimientos conjuntos con diferentes criptomonedas.

Cabe destacar como la Letra del Tesoro y las criptodivisas tienen una correlación negativa de -0,44. Por lo tanto, los bajos tipos de interés parecen animar a los inversores a buscar activos como los NFTs, los CryptoPunks. Además, la correlación entre ambas criptodivisas se puede explicar por la dependencia de las NFT de las criptodivisas. En general, los resultados sugieren que los CryptoPunks son adecuados para su uso en la diversificación de carteras.

CAPÍTULO VI: ESTUDIO EMPÍRICO

1. Datos

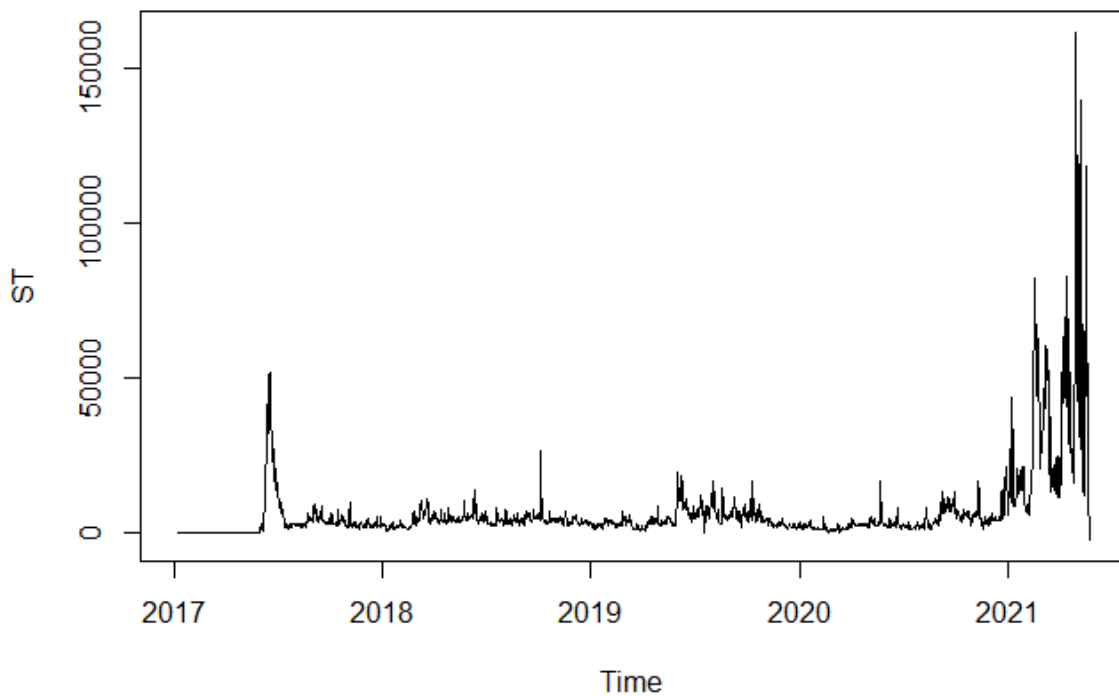
En orden a llevar a cabo un estudio lo más exhaustivo posible, concretamente a cerca de los NFTs, es interesante analizar y modelizar una serie temporal empleando la herramienta R. Para ello, se empleará el conjunto de datos “NFT_Sales” que cuenta con las siguientes variables: Date, Sales_USD_cumsum, Number_of_Sales_cumsum, Active_Market_Wallets_cumsum, Primary_Sales_cumsum, Secondary_Sales_cumsum, AverageUSD_cum, Sales_USD, Number_of_Sales, Active_Market_Wallets, Primary_Sales.

El conjunto de datos ha sido obtenido de kaggle.com. El horizonte temporal tomado por el conjunto de datos abarca desde el 22 de junio de 2017 a 12 de noviembre de 2021. Sin embargo, he borrado los seis datos iniciales de junio del archivo csv ya que es problemático trabajar a mes empezado. Además, al ser una serie tan larga, esos días no aportan nada. Por lo tanto, se trabajará con 1597 observaciones.

2. Metodología

En primer lugar, muestro la representación de la serie temporal. Una serie temporal es una sucesión de observaciones de una variable aleatoria en varios instantes de tiempo. En este caso, he decidido utilizar la variable “Number of sales”, ya que considero que es la más representativa a la hora de medir y observar la evolución del mercado de los NFTs.

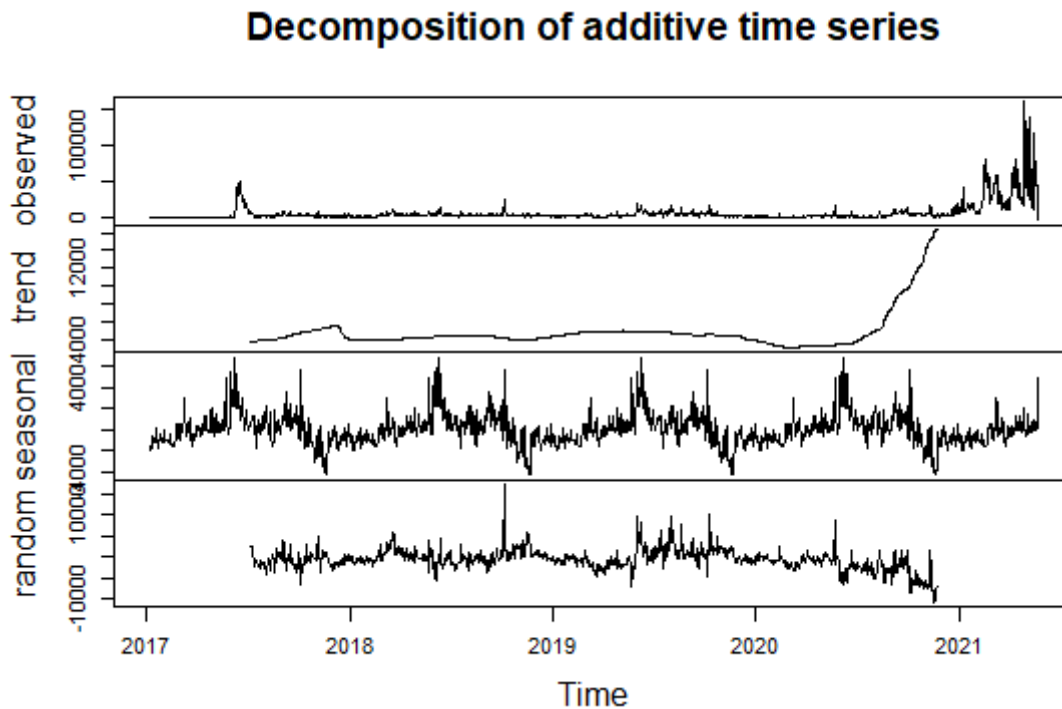
Figura 4. Serie temporal del volumen de ventas de NFTs.



Fuente: Elaboración propia.

Nos encontramos ante una serie con tendencia cuadrática, en tanto que sus valores aumentan o disminuyen a un ritmo que no es constante, cambiando con el tiempo. Se observa como la tendencia no es lineal. Por otro lado, la serie se caracteriza igualmente por no ser estacionaria, al no ser su media o su varianza constantes a lo largo del tiempo. Destacar además como hacia el final de la serie, tiene lugar un cambio de tendencia o nivel, el cual será necesario modelizar en orden a tratar los datos correctamente. La figura 5 muestran los distintos componentes de la serie temporal: tendencia, estacionalidad y componente aleatorio.

Figura 5. Componentes de la serie temporal.

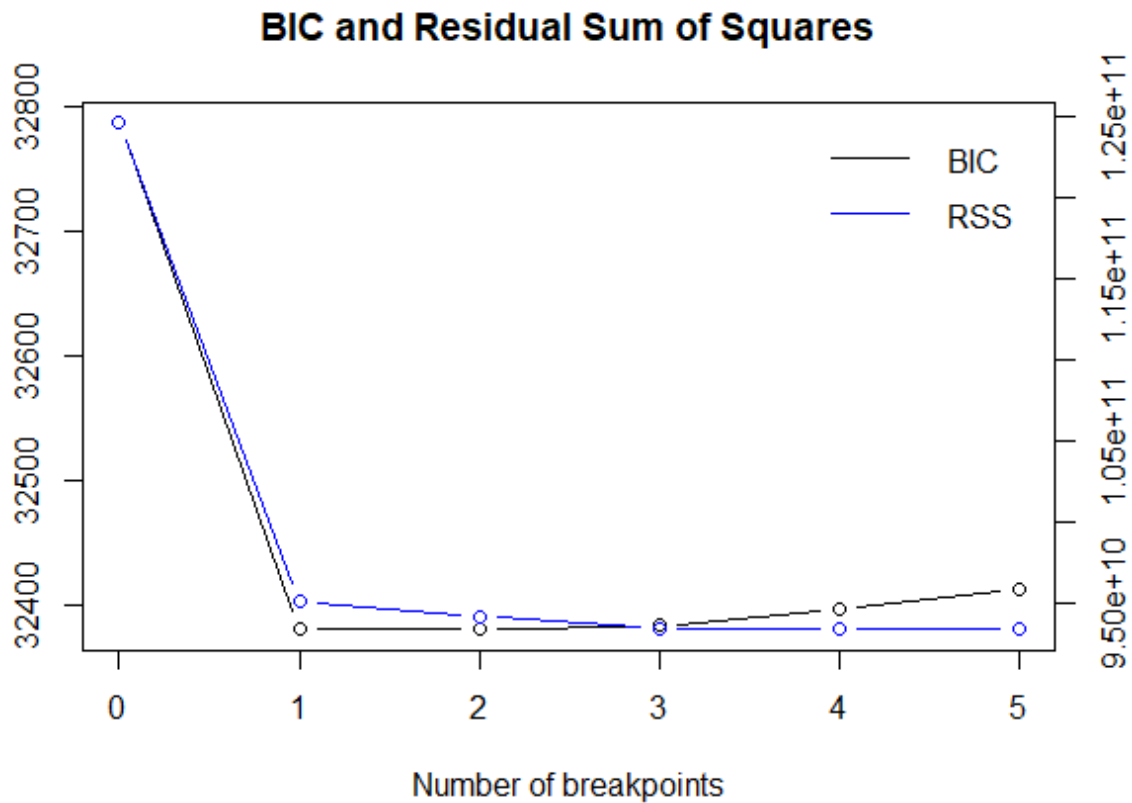


Fuente: Elaboración propia.

Existen dos posibilidades a la hora de tratar cambios de nivel en series temporales. Una posibilidad es realizar un análisis de intervención, cuyo objetivo es estimar el efecto de una intervención externa o exógena en una serie temporal. La segunda opción consistiría en estudiar cada tramo de la serie por separado, lo que es menos recomendable debido a su complejidad.

La figura 6 muestra los posibles cambios estructurales y su situación. Para determinar el número de cambios de nivel, es necesario atender al criterio de información bayesiano (BIC) el cual se utiliza como criterio a la hora de llevar a cabo una selección de modelos entre un conjunto finito de los mismos. El valor mínimo del BIC se alcanza cuando $m = 1$, por lo que sólo se determina un cambio de nivel, localizado a finales del año 2020.

Figura 6. Representación del número de cambios de nivel en función de BIC y RSS.



Breakpoints at observation number:

```

m = 1           1325
m = 2          1039 1325
m = 3           820 1053 1325
m = 4          412   820 1053 1325
m = 5          363 596 829 1062 1325
    
```

Corresponding to breakdates:

```

m = 1           2020(236)
m = 2           2019(315) 2020(236)
m = 3           2019(96)  2019(329) 2020(236)
m = 4  2018(53)  2019(96)  2019(329) 2020(236)
m = 5  2018(4)  2018(237) 2019(105) 2019(338) 2020(236)
    
```

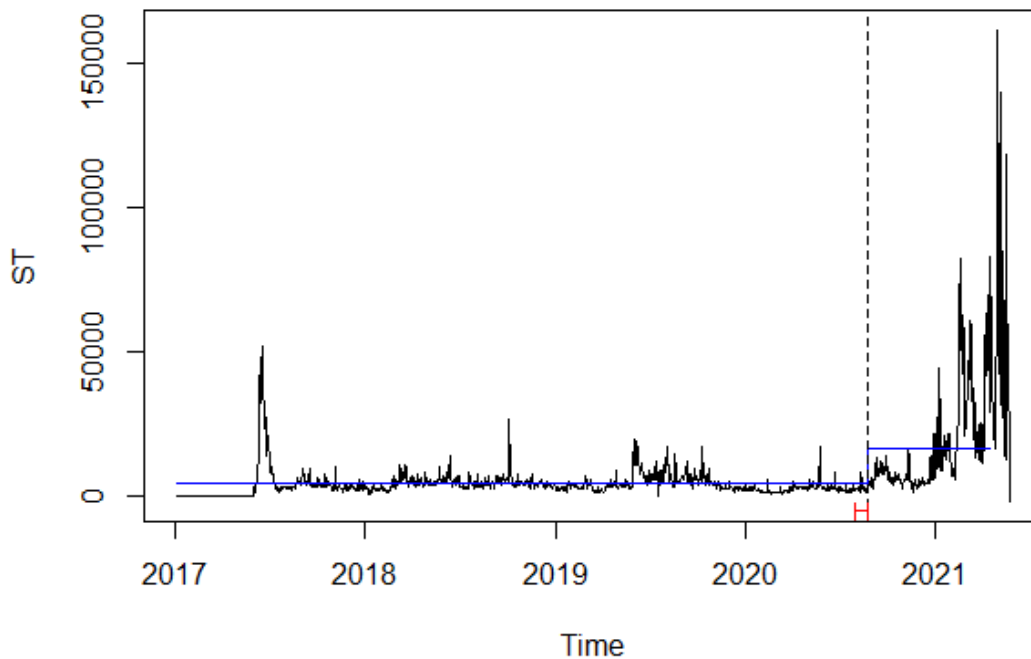
Fit:

```

m   0         1         2         3         4         5
RSS 1.245e+11 9.501e+10 9.413e+10 9.342e+10 9.332e+10 9.338e+10
BIC 3.279e+04 3.238e+04 3.238e+04 3.238e+04 3.240e+04 3.241e+04
    
```

La figura 7 muestra el cambio de tendencia en la serie, el cuál tiene lugar a finales del año 2020.

Figura 7. Representación del cambio de nivel mediante la función “breakpoints”.



Fuente: Elaboración propia.

La línea azul representa el cambio de nivel o escalón y la roja muestra un intervalo de confianza en el que se va a encontrar dicho escalón.

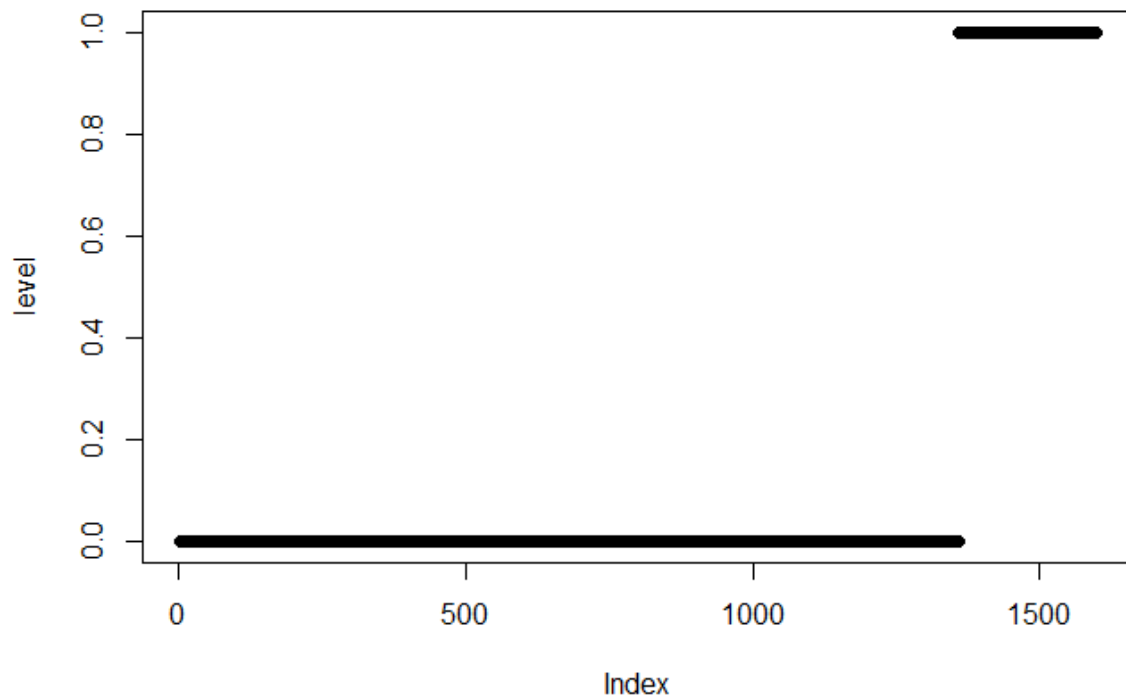
Las series temporales del mercado de NFTs se encuentran influenciadas por sucesos externos. Estos sucesos externos fueron denominados por Box y Tiao (1975) como intervenciones. La técnica del análisis de intervención consiste en analizar el efecto de las intervenciones en el comportamiento de una serie temporal. Para realizar intervenciones en un modelo, es necesario identificar dos características: Por un lado, el período en el que empiezan los sucesos externos y por otro lado, la forma del impacto de las intervenciones.

El análisis de intervención se caracteriza porque con antelación se sospecha que un suceso externo ha influido en la serie temporal objeto de predicción. Sin embargo, hay ocasiones en las que desconocemos la existencia de estos sucesos o el comienzo de los mismos, y si es posible que se pongan de manifiesto porque existen datos atípicos: anomalías. Así, en el caso de que la causa y el tiempo de ocurrencia de estos sucesos se desconocieren, hablaremos de anomalías en las series temporales. En el caso de que se detecten anomalías en la serie temporal, se han de tener en cuenta. Igualmente, una anomalía también podría

producirse por un error de medida o un hecho puntual que generalmente no sucede (Baró et al., 2000).

Por ello, es importante disponer de procedimientos capaces de detectar las anomalías y eliminar sus efectos, ya que podrían influir en el análisis de las series temporales, haciendo que los resultados de la inferencia fueren inválidos. De este modo, la manera más sencilla de intervenir un modelo consiste en emplear una variable *dummy*, la cual tome el valor 1 en el período de intervención y el valor cero en el resto. En el código, situado en el Anexo 1, se define la variable “level” a modo de variable *dummy*. La figura 8 representa esta variable.

Figura 8. Representación del escalón.



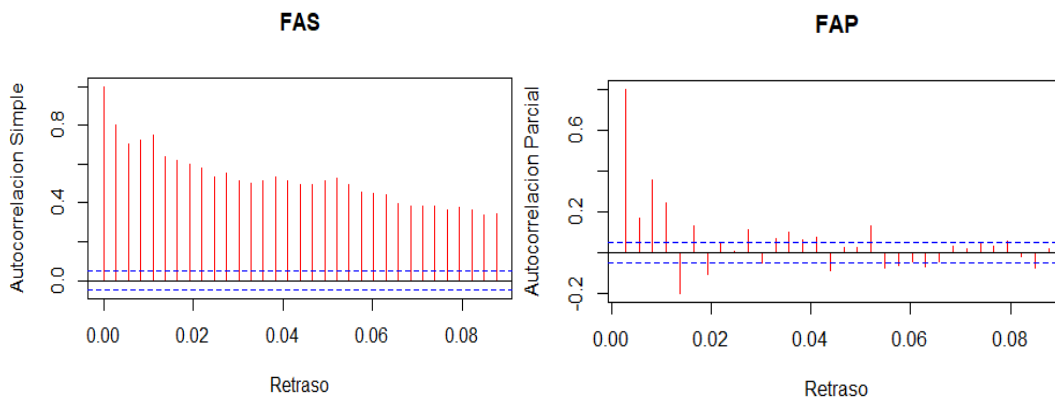
Fuente: Elaboración propia.

Como ya se ha explicado anteriormente, el modo de proceder a la hora de tratar la presente serie temporal ha sido implementando una variable escalón. Esta variable se emplea debido a que el suceso extraordinario que afecta a nuestra serie temporal, como se puede observar, cambia el nivel de forma permanente. A partir del suceso, los valores de la serie aumentan de manera continuada. Así, antes del suceso extraordinario nuestra variable tomará el valor cero y 1 a partir de ese momento.

Así, nos encontramos ante una anomalía de cambio de nivel. El análisis de intervención nos permite tratar las anomalías sin necesidad de que sean eliminadas.

Por otro lado, a la hora de estudiar series temporales, es pertinente analizar la función de autocorrelación simple (FAS) y la función de autocorrelación parcial (FAP). La FAS mide la correlación entre observaciones separadas por k periodos, mientras que la FAP mide esta misma correlación pero eliminando el efecto de las observaciones intermedias. En nuestro caso concreto, este análisis nos es poco útil debido a la alta volatilidad de la serie.

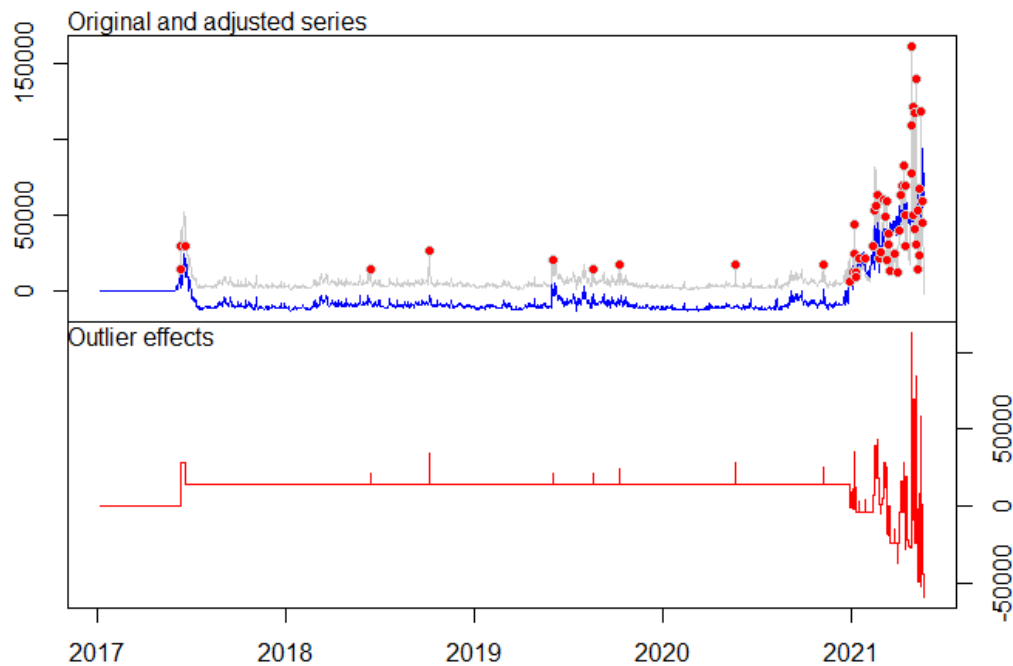
Figura 9. Función de autocorrelación simple y función de autocorrelación parcial.



Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, la figura 10 expone los outliers (atípicos) de la serie temporal. Se observa como a partir de 2021 se da un gran número de estos, lo que representa el cambio de tendencia ya expuesto y que consecuentemente es necesario modelizar. Por ello, no se deben eliminar los outliers.

Figura 10. Representación de los valores atípicos de la serie temporal.

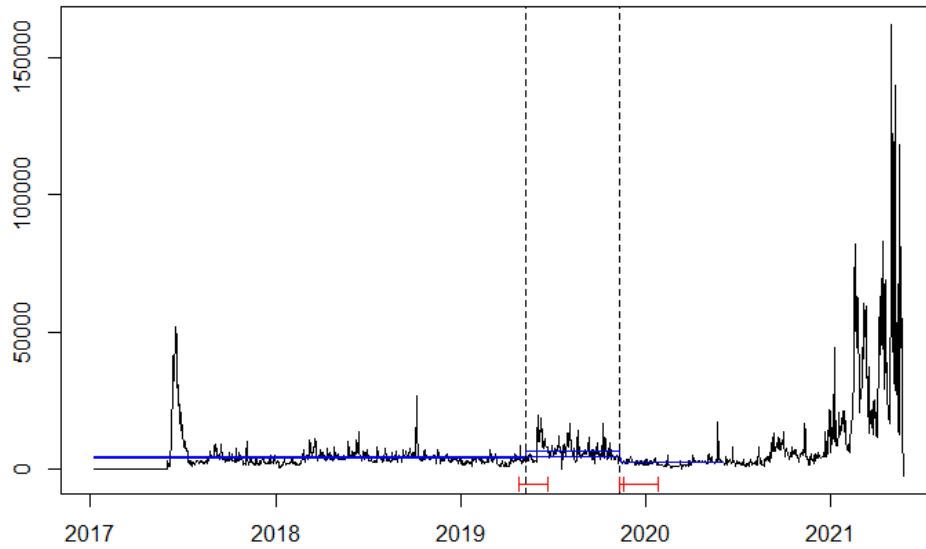


Fuente: Elaboración propia.

En orden a realizar la predicción de la serie temporal, se lleva a cabo la implementación de un modelo predictivo. Para ello es necesario distinguir entre el conjunto de datos de entrenamiento (datos que entrenan los modelos), el conjunto de datos de validación (determina el mejor de los modelos entrenados) y el conjunto de datos de test (muestra el error real en el que se ha incurrido con el modelo seleccionado).

El conjunto de validación determinará el período de tiempo que se quiere predecir. Al tener un conjunto de datos tan grande, el conjunto de validación debería ser de al menos un veinte por ciento. Sin embargo, si se toma un conjunto de validación de este tamaño no se puede modelizar bien la serie temporal ya que identifica dos cambios de nivel o breakpoints. Al ser la serie tan “nerviosa”, según el intervalo que se tome pueden salir distintas opciones. La figura 11 demuestra este problema, ya que expone la existencia de dos cambios de nivel que apenas se pueden percibir entre los años 2019 y 2020, sin mostrar el verdadero escalón que tiene lugar a principios del año 2021.

Figura 11. Representación de dos cambios de nivel erróneos.



Fuente: Elaboración propia

El problema reside en que el cambio de nivel se encuentra al final de la serie, de manera que para modelarlo será necesario tomar un conjunto de validación más pequeño. En este caso, se ha decidido emplear un conjunto de validación de tamaño 33, lo que significa que se predecirán 33 valores futuros a partir del final de la serie temporal. Así, el programa sí reconoce correctamente el cambio de nivel. Se ha cogido el valor 33 a raíz de haber llevado a cabo un método heurístico de prueba y error, hasta que se encontrara un conjunto de validación que únicamente expusiere un escalón, un cambio de nivel.

En cuanto a los modelos a implementar para determinar cuál es la predicción más acertada, se ha llevado a cabo en primer lugar un modelo ARIMA con la función “auto.arima”.

El modelo general ARIMA (p, d, q) denominado proceso autorregresivo integrado de medias móviles de orden p, d, q, toma la expresión:

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - B)^d X_t = (1 - v_1 B - v_2 B^2 - \dots - v_q B^q) a_t$$

Adoptando un punto de vista estocástico, Box y Jenkins (1976) desarrollaron modelos estadísticos para series temporales que tuvieren en cuenta la dependencia existente entre los distintos datos, es decir, cada observación en un momento concreto es modelada en función de las observaciones anteriores (de la Fuente Fernández, 2016). Estos modelos de carácter explícito se conocen con el nombre genérico de ARIMA, que deriva de sus tres componentes AR (Autoregresivo), I (Integrado) y MA (Medias Móviles).

Un modelo se define como autorregresivo si la variable endógena de un período concreto t , se explica por las observaciones de ella misma correspondientes a períodos anteriores añadiéndose un término de error. En el caso de procesos estacionarios que tienen una distribución normal, la teoría estadística de estos procesos expone como toda Y_t puede expresarse como una combinación lineal de sus valores pasados (parte sistemática) más un término de error (innovación), siempre y cuando se den unas condiciones previas (De Arce y Mahía, 2003). La I (de integrado) hace referencia a que la serie debe diferenciarse, ya que tiene tendencia. La diferenciación es necesaria si existe tendencia en la serie (necesitamos estacionariedad) y se utiliza para eliminar su efecto. Así, el modelo ARIMA (p,d,q) permitirá la descripción de una serie de valores una vez hayan sido diferenciados d veces, con el fin de extraer las fuentes de no estacionariedad. Lo que se busca es que la serie no tenga tendencia y que presente una dispersión similar en cualquier instante de tiempo, se homogeneiza la varianza.

La librería `forecast` de R proporciona la función `auto.arima`, la cual ofrece una opción rápida para realizar predicciones con series temporales, ya que se encarga de evaluar el mejor modelo de entre todos los posibles en base a diversos criterios como la estacionariedad, la estacionalidad y diferencias.

Para comparar con el modelo Auto Arima, se realiza posteriormente el ajuste de un modelo ARIMA manualmente, mediante la implementación de bucles “for” anidados. Un bucle anidado es aquel que se incluye en el bloque de sentencias de otro bloque, pudiéndose dar cualquier nivel de anidamiento.

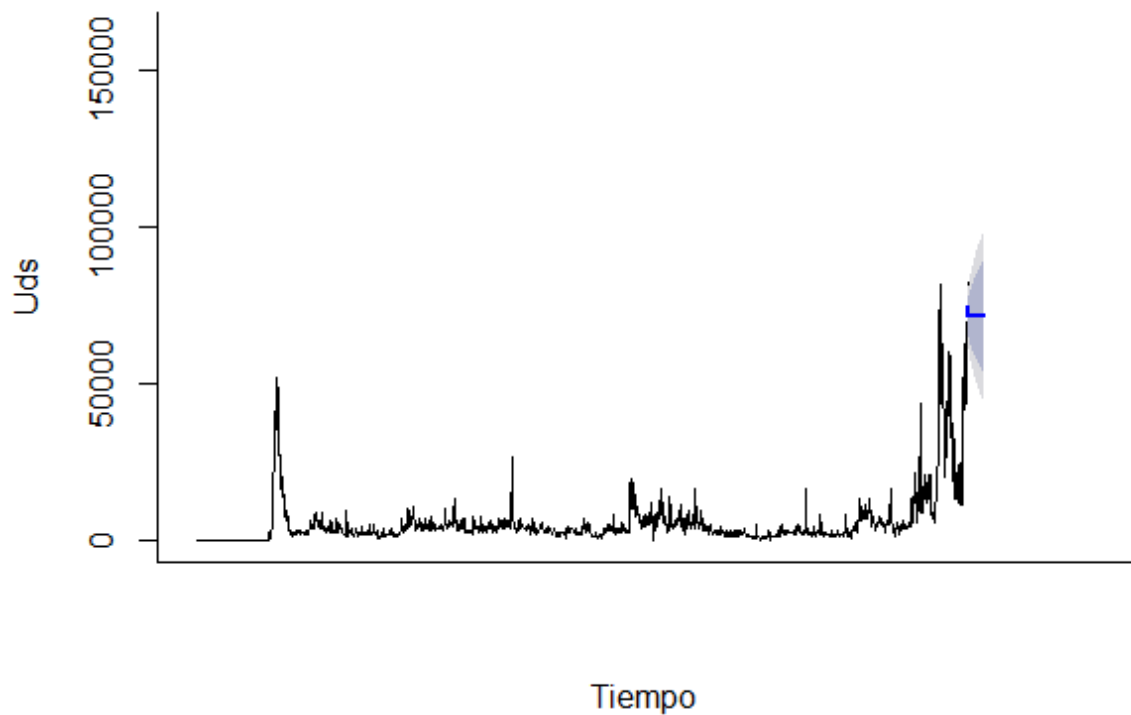
Con el objetivo de determinar qué modelo emplear para obtener una predicción lo más correcta posible, se atenderá al criterio de información de Akaike (AIC). Se trata de una medida de la calidad relativa de un modelo estadístico, para un conjunto de datos dado. Este realiza un trade-off entre la bondad de ajuste del modelo y la complejidad del mismo

(Martínez et al., 2009). Aquel ajuste que exprese un menor AIC, será el que se utilice para entrenar nuestro modelo.

El ajuste Auto Arima devuelve un AIC igual a 29786.82 mientras que el ajuste ARIMA realizado manualmente con los bucles anidados devuelve un AIC igual a 16743.81, de manera que será este último el que se emplee para realizar la predicción de la serie. Se empleará un modelo ARIMA (2,2,0)(0,2,0).

Finalmente se realiza la predicción de 33 días. Como se puede observar en la Figura 12, se da una línea recta, algo que ya era de prever debido a que la serie temporal se caracteriza por una volatilidad muy elevada, de manera que el modelo predictivo no es bueno. Sin embargo, lo interesante de este trabajo era la modelización del cambio de nivel presente al final de la serie temporal.

Figura 12. Representación de la predicción.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

El sector de los activos alternativos ha protagonizado un notable crecimiento en la última década, habiéndose convertido en un pilar fundamental dentro del universo de inversión. Los activos alternativos bajo gestión (AUM) se encuentran en máximos históricos, y el interés de los inversores y gestores de fondos por esta clase de activos ha aumentado de manera constante a lo largo del tiempo. Este aumento de la demanda ha sido el principal motor de crecimiento del sector, destacando igualmente la gran contribución de la expansión de los mercados emergentes; Asia-Pacífico, Oriente Medio y América Latina desempeñan un papel cada vez más importante como fuente de capital de los inversores que asignan a productos alternativos, así como foco de oportunidades de inversión para los gestores de fondos que buscan desplegar capital. Así las cosas, se espera que los activos alternativos produzcan la mitad de los ingresos del sector en pocos años, a pesar de representar sólo el 12% del mercado invertible mundial en 2020.

En esta línea, la tokenización ostenta un gran potencial para los activos ilíquidos y con altas barreras de entrada. A través de la propiedad fraccionada, esta herramienta basada en la tecnología Blockchain es capaz de proporcionar una mayor eficiencia operativa y aportar liquidez. Además, la tokenización aportaría cambios en la industria de la gestión de activos y de patrimonios, permitiendo a un grupo más amplio de inversores acceder a nuevos productos y servicios más adecuados a la hora de satisfacer sus necesidades financieras, caracterizadas fundamentalmente por la búsqueda de retornos más atractivos y diversificación en las carteras.

Por otro lado, la llegada de los activos digitales basados en la tecnología Blockchain como las criptomonedas, los STOs o los ICOs, ha impactado notablemente en el ecosistema financiero en pocos años. Así, se espera que el auge de los NFTs altere las industrias de forma más amplia y profunda en un futuro próximo. En particular, los NFTs podrían ser los activos más importantes del metaverso, el cuál apunta a convertirse en una de las mayores formas de economía digital.

Tras el análisis llevado a cabo en el presente trabajo, se puede concluir como la escasez de los tokens, así como el juicio propio del inversor sobre la estética de los mismos, son determinantes a la hora de explicar las rápidas subidas de sus precios. Igualmente, la adopción de la tecnología Blockchain y la variación de las criptomonedas también afectan

a la valoración de los NFTs, aunque en menor medida. Destacar también como los NFTs se han convertido en populares activos de inversión alternativa, especialmente cuando los activos financieros convencionales generan rendimientos relativamente bajos. Además, se ha descubierto como estos activos proporcionan a los inversores no sólo rendimientos financieros por la reventa, sino también dividendos emocionales por la posesión.

Estos activos caracterizados por su transparencia, trazabilidad y seguridad están permitiendo casos de uso que nunca antes se habían demostrado, presentando métodos mejorados para hacer valer la autenticidad y la legitimidad de la propiedad de los activos. Los NFTs parecen ofrecer una inversión adecuada para la diversificación, debido a que la correlación con otros activos es relativamente baja.

El rápido crecimiento del mercado de los NFTs es visto como una nueva oportunidad para muchos inversores, pero los aspectos económicos de esta clase de activo todavía no se comprenden bien, debido a la novedad del campo. A pesar de las numerosas ventajas que estos activos ofrecen, hemos visto como a su vez van acompañadas de una serie de retos y riesgos; la alta volatilidad, la iliquidez y la irracionalidad de este mercado no se pueden subestimar. Además, el auge de este incipiente mercado hace necesaria la legislación y regulación de esta clase de activos en orden a llevar a cabo un completo desarrollo del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberts, J. y Nofziger, D.N. (2021). *OCC Permits National Banks to Enter Stablecoin Arena*. Recuperado de <https://news.bloomberglaw.com/banking-law/occ-permits-national-banks-to-enter-stablecoin-arena>
- Anson, M. J., Chambers, D. R., Black, K. H., Kazemi, H. B., y CAIA Association (2012). *CAIA level I: an introduction to core topics in alternative investments*. Hoboken, NJ, Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Ante, L. (2021). *The non-fungible token (NFT) market and its relationship with Bitcoin and Ethereum*.
- Arner, D., McCormack, U., Han, G., Shi, L., Lo, K., Lui, R. y Cheung, W. (2020). Security token offerings: The next phase of financial market evolution?
- Baum, A. (2020). Tokenization - The Future of Real Estate Investment? *The Journal of Portfolio Management*, 47(10), 41-61.
- Beck, R., Avital, M., Rossi, M., y Thatcher, J. B. (2017). Blockchain technology in business and information systems research. *Business & information systems engineering*, 59(6), 381-384.
- Black, K. y Fillbeck, A. (2020). *THE NEXT DECADE OF ALTERNATIVE INVESTMENTS: From Adolescence to Responsible Citizenship*.
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C. y Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Box, G. E. y Tiao, G. C. (1975). Intervention analysis with applications to economic and environmental problems. *Journal of the American Statistical association*, 70(349), 70-79.
- Burton, B. J. y Jacobsen, J. P. (1999). Measuring returns on investments in collectibles. *Journal of Economic Perspectives*, 13(4), 193-212.
- CAIA Association, BNP PARIBAS Asset Management, Liquefy. (2021). *Tokenisation of Alternative Investments*. Recuperado de <https://caia.org/tokenisation>

- De Arce, R., & Mahía, R. (2003). Modelos Arima. *Programa CITUS: Técnicas de Variables Financieras*.
- de la Fuente Fernandez, S. (2016). *Series Temporales: Modelo Arima*.
- DIGICONOMIST (2022). *Ethereum Energy Consumption Index*.
<https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>.
- Dimson, E., Rousseau, P.L. y Spaenjers, C. (2015). The price of wine. *Journal of Financial Economics*, 118 (2), 431-449.
- Dowling, M. (2022). Fertile LAND: Pricing non-fungible tokens. *Finance Research Letters*, 44.
- Dowling, M. (2022). Is non-fungible token pricing driven by cryptocurrencies? *Finance Research Letters*, 44.
- Freni, P., Ferro, E. y Moncada, R. (2020). *Tokenization and Blockchain Tokens Classification: a morphological framework*.
- Gupta, M. (2020). *Blockchain for dummies*. Hoboken, NJ, Estado Unidos: John Wiley & Sons.
- Gupta, A., Rathod, J., Patel, D., Bothra, J., Shanbhag, S., & Bhalerao, T. (2020). Tokenization of Real Estate Using Blockchain Technology. In *International Conference on Applied Cryptography and Network Security* (pp. 77-90). Cham, Suiza: Springer.
- Huang, S., Huang, Y. y Lin, T. C. (2019). Attention allocation and return co-movement: Evidence from repeated natural experiments. *Journal of Financial Economics*, 132(2), 369-383.
- Jiang, S., Li, Y., Lu, Q., Hong, Y., Guan, D., Xiong, Y. y Wang, S. (2021). Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. *Nature communications*, 12(1), 1-10.
- Kong, D. R. y Lin, T. C. (2022). *Alternative investments in the Fintech era: The risk and return of Non-Fungible Token (NFT)*.
- Kannengießer, N., Lins, S., Dehling, T., y Sunyaev, A. (2019). *Mind the gap: trade-offs between Distributed Ledger Technology characteristics*.

- Lynn, A. (2021). Tokenisation: A “new frontier” in the democratization of PE. *Private Equity International*. Recuperado de <https://www.privateequityinternational.com/tokenisation-a-new-frontier-in-the-democratisation-of-pe/>
- Lovo, S. y Spaenjers, C. (2018). A model of trading in the art market. *American Economic Review* 108 (3), 744-774.
- Liu, Y. y Tsyvinski, A. (2021). Risks and returns of cryptocurrency. *The Review of Financial Studies*, 34(6), 2689-2727.
- Lambert, T., Liebau, D., & Roosenboom, P. (2021). Security token offerings. *Small Business Economics*, 1-27.
- Lyons, R. K. y Viswanath-Natraj, G. (2020). *What keeps stablecoins stable?* Recuperado de <https://www.nber.org/papers/w27136>
- Mandel, B.R. (2009). Art as an investment and conspicuous consumption good. *American Economic Review*, 99 (4), 1653-1663.
- Martinez, D. R., Albin, J., Cabaleiro, J., Pena, T., Rivera, F. y Blanco, V. (2009). El Criterio de Información de Akaike en la Obtención de Modelos Estadísticos de Rendimiento. *In Conference: XX Jornadas de Paralelismo*.
- Mendelson, M. (2019). From initial coin offerings to security tokens: A US Federal Securities law analysis. *Stan. Tech. L. Rev.*, 22 (52).
- Meskó B. y Dhunoo P. (2022). *The Medical Futurist*. Recuperado de <https://medicalfuturist.com/nfts-an-health-data/>
- Montgomery, N., Squires, G., y Syed, I. (2018). Disruptive potential of real estate crowdfunding in the real estate project finance industry: A literature review. *Property Management*.
- Mora, C., Rollins, R. L., Taladay, K., Kantar, M. B., Chock, M. K., Shimada, M. y Franklin, E. C. (2018). Bitcoin emissions alone could push global warming above 2 C. *Nature Climate Change*, 8(11), 931-933.
- Office of the Comptroller of the Currency (2021). *OCC Chief Counsel’s Interpretation on National Bank and Federal Savings Association Authority to Use Independent Node*

Verification Networks and Stablecoins for Payment Activities. Recuperado de <https://www.occ.gov/news-issuances/news-releases/2021/nr-occ-2021-2a.pdf>

Ofori, L. (2021). *What the OCC's Letter Means for PASTOs*.

Park, A, Kietzmann, J, Pitt, L y Dabirian, A. (2022). The Evolution of Nonfungible Tokens: Complexity and Novelty of NFT Use-Cases. *IT Professional*, 24 (1), 9-14.

Parrondo, L. (2021). Finanzas Descentralizadas, beneficios y riesgos. *Revista Técnica Contable y Financiera*.

Preqin. (2022). *2022 Preqin Global Alternative Reports*. Recuperado de <https://www.preqin.com/insights/2022-preqin-global-alternatives-reports>

Quigley, D., Beltran, A., Maia, P., Spivey, J., Pinshaw, G., Vickery, B. y Portner, M. (2022). *Private markets rally to new heights*. *McKinsey Global Private Markets Review 2022*.

Rehman, W, e Zainab, H, Imran, J y Bawany, N.Z. (2021). *NFTs: Applications and Challenges*.

Sazandrishvili, G. (2020). Asset tokenization in plain English. *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 31(2), 68-73.

Schaar, L. y Kampakis, S. (2022). Non-Fungible Tokens as an Alternative Investment: Evidence from CryptoPunks. *The Journal of The British Blockchain Association*.

(2021). *Security Token Offerings: STO Crypto Asset Tokenization User Guide*. <https://www.securitytokenoffering.com>

Tian, Y., Lu, Z., Adriaens, P., Minchin, R. E., Caithness, A., y Woo, J. (2020). Finance infrastructure through blockchain-based tokenization. *Frontiers of Engineering Management*, 7(4), 485-499.

Trautman, L. J. (2021). *Virtual art and non-fungible tokens*.

Wang, Q., Li, R., Wang, Q., & Chen, S. (2021). *Non-fungible token (NFT): Overview, evaluation, opportunities and challenges*.

Worthington, A. C. y Higgs, H. (2004). Art as an investment: Risk, return and portfolio diversification in major painting markets. *Accounting & Finance*, 44(2), 257-271.

Zhukova, A., Lakshina, V. y Leonova, L. (2020). Hedonic Pricing on the Fine Art Market. *Information*, 11(5), 252.

ANEXO

1. Código R

```
#####  
  
# LEEMOS LOS DATOS  
  
#####  
  
library(readxl)  
  
library(tidyverse)  
  
library(dplyr)  
  
install.packages("strucchange")  
  
library(strucchange)  
  
#Establecemos como directorio de trabajo la carpeta en la que está guardado el script  
setwd(dirname(rstudioapi::getActiveDocumentContext()$path))  
  
#Verificamos el directorio de trabajo  
  
getwd()  
  
data=read.csv("NFT_Sales_TFG.csv",header = TRUE, sep = ",")  
  
summary(data)  
  
# Generamos un objeto tipo ts (serie temporal)  
  
ST = ts(data$Number_of_Sales, start = c(2017,7,1) , frequency = 365)  
  
plot(ST)  
  
#Buscamos el cambio de nivel  
  
(break_point <- breakpoints(Train.data ~ 1))
```

```

#tenemos un cambio de nivel hacia arriba

plot(break_point)

summary(break_point)

lines(fitted(break_point, breaks = 1), col = 4)

lines(confint(break_point, breaks = 1))

#intervalo de confianza de nuestra variable escalon. Nos pinta un rango de donde se va
a encontrar el escalón.

level <- c(rep(0, break_point$breakpoints),
           rep(1, length(Train.data) - break_point$breakpoints))

plot(level)

#este es el modelo que posteriormente habrá que integrar en los bucles anidados, para
hacerle saber al programa que estamos modelizando el cambio de nivel.

model_4 <- Arima(Train.data, order = c(p,d,q),
                seasonal = list(order = c(p,d,q), period = per),
                xreg = level, include.mean = TRUE)

summary(model_4)

#####

# PINTAMOS LA SERIE, SU FAP Y FAS

#####

#Podemos descomponer la serie en sus componentes

```



```

components.ts = decompose(ST)

plot(components.ts)

#Ahora calculamos FAS y FAP

par(mfrow=c(1,1))

plot(ST,

     main= "Serie temporal", font.main = 1,

     col="blue",

     ylab = "Valores", xlab = "Tiempo")

acf(ST,

     main= "FAS", font.main = 1,

     col="red",

     ylab = "Autocorrelacion Simple", xlab = "Retraso")

pacf(ST,

     main= "FAP", font.main = 1,

     col="red",

     ylab = "Autocorrelacion Parcial", xlab = "Retraso")

#cargamos la libreria forecast para poder usar la funcion ggseasonplot, BoxCox.lambda
y auto.arima

library(forecast)

BoxCox.lambda(ST)

#Comparativa de todos los Años

ggseasonplot(ST, year.labels=FALSE, year.labels.left=FALSE)

```

```

#Lo mismo pero en representación polar

ggseasonplot(ST, year.labels=FALSE, year.labels.left=FALSE, polar=TRUE )

#####

# IDENTIFICAMOS POSIBLES ATIPICOS. ¿SE ELIMINAN?

#####

library(tsoutliers)

# La serie tiene tendencia cuadrática.

# Tarda bastante pero acaba funcionando

outliers <- tso(ST, tsmethod = "arima", args.tsmethod = list(order = c(3, 2, 1), seasonal =
list(order = c(0, 0, 0))), maxit.iloop=30, maxit.oloop=30)

outliers

# Salem muchos outliers al final ¿Por qué? Porque hay un cambio de tendencia que no
está modelizado

# Hay que modelizar ese cambio de tendencia

plot(outliers)

# No eliminar los atípicos

outliers

plot(ST)

#####

# GENERAMOS EL CONJUNTO DE ENTRENAMIENTO Y EL DE VALIDACION

#conjunto de validacion

nValidacion =33

nEntrenamiento = length(ST)-nValidacion

```

```
Train.data = window(ST, start = c(2017,7), end = c(2017, nEntrenamiento)) #La funcion
window nos permite extraer un grupo de datos de una serie temporal
```

```
Train.data
```

```
Validation.data = window(ST, start = c(2017, nEntrenamiento+1))
```

```
Validation.data
```

```
#####
```

```
# VEMOS SI ES NECESARIO REALIZAR ALGUNA TRANSFORMACION BOX-COX
```

```
#####
```

```
Lambda=BoxCox.lambda(Train.data)
```

```
Lambda
```

```
#####
```

```
# AJUSTAMOS UN MODELO ARIMA CON AUTO ARIMA
```

```
#####
```

```
#Probamos primero con auto.arima permitiendoles usar "atajos"
```

```
arima.fit.entrenamientoAA= auto.arima(Train.data)
```

```
arima.fit.entrenamientoAA
```

```
#Ahora lo calculamos sin atajos.Da un ajuste mejor (menor AIC)
```

```
arima.fit.entrenamientoAA = auto.arima(Train.data, stepwise=FALSE, approx =FALSE)
```

```
arima.fit.entrenamientoAA
```

```
orden=arimaorder (arima.fit.entrenamientoAA)
```

```
orden
```

```
#0,1,2
```

```

#####
# AJUSTAMOS UN MODELO ARIMA MANUALMENTE, PARA COMPARAR CON EL
# RESULTADO DE AUTO ARIMA
#####

#Vamos probando combinaciones (puede hacerse con bucles "for" anidados).

#Esto tarda mucho (pero acaba funcionando)

per=365 #sabemos que la estacionalidad es de periodo 365

ordenregular = 2 # Hasta que orden regular queremos probar

ordenestacional = 1 # Hasta que orden estacional queremos probar 0

difregular = 2 # Hasta que orden de diferenciacion regular queremos probar

difestacional = 2 # Hasta que orden de diferenciacion regular queremos probar

model_4 <- Arima(Train.data, order = c(p,d,q),
                 seasonal = list(order = c(p,d,q), period = per),
                 xreg = level, include.mean = TRUE)

lista<-c()

lista2<-c()

for (p in 0:ordenregular){
  for (d in 0:difregular){
    for (q in 0:ordenregular){
      for (P in 0:ordenestacional){
        for (D in 0:difestacional){
          for (Q in 0:ordenestacional){
            prueba = try(Arima(Train.data, order=c(p,d,q),
                              seasonal = list(order=c(P,D,Q), period=per),

```

```

xreg = level, include.mean = TRUE,

lambda = Lambda,

include.constant = TRUE),silent = TRUE)

p1<-try(prueba$aic, silent = TRUE)

lista<-append(lista,p1,after = length(lista))

ORDEN<-paste(p,d,q,P,D,Q)

lista2<-append(lista2,ORDEN,after = length(lista2))

}}}}}}

valores<-na.omit(data.frame(as.numeric(lista),lista2))

valores

dimension=dim(valores)

dimension[1]

#orden bucle

ordenBUCLE=valores[which.min(valores$Value),]

ordenBUCLE

#Partimos de un modelo naive

Modelo.naive = Arima(Train.data, order=c(0,0,0),

seasonal = list(order=c(0,0,0), period=365),

lambda = Lambda,

include.constant = TRUE)

```

```

mejor.aic = Modelo.naive$aic

mejor.aic

for (i in 1:dimension[1])
{
  if(valores[i,1] < mejor.aic)
  {
    mejor.aic=valores[i,1]
    mejor.modelo=valores[i,2]
  }
}

mejor.modelo

#HEMOS ENCONTRADO UN MEJOR AJUSTE

#Mejor ajuste: ARIMA(2,2,0)(0,2,0)[365].

arima.fit.entrenamiento = Arima(Train.data, order=c(2,2,0),
                                seasonal = list(order=c(0,2,0), period=365),
                                xreg = level, include.mean = TRUE,
                                lambda = Lambda,
                                include.constant = TRUE)

arima.fit.entrenamiento

```

```

library(lmtest) #Cargamos la libreria lmtest para usar la funcion coeftest
coeftest(arima.fit.entrenamiento) # Analizamos la significatividad de los coeficientes
#Tambien podemos calcular los intervalos de confianza para los coeficientes
confint(arima.fit.entrenamiento,level = 0.99)

#####

# HACEMOS EL DIAGNOSTICO DE LOS RESIDUOS

#####
#####

tsdiag(arima.fit.entrenamiento)

Box.test(arima.fit.entrenamiento$residuals,lag=10,type="Lj")

qqnorm(arima.fit.entrenamiento$residuals)
qqline(arima.fit.entrenamiento$residuals)

library(tseries)

jarque.bera.test(arima.fit.entrenamiento$residuals)

hist(arima.fit.entrenamiento$residuals)

#####

# HACEMOS LA PREDICCION

#####
#####

##MODELO AUTOARIMA

```

```
prediccion = forecast(arima.fit.entrenamientoAA, h=33) #h es el periodo de prediccion,  
usamos los dias del conjunto de validacion
```

```
prediccion
```

```
par(mfrow=(c(1,1)))
```

```
plot(prediccion, ylim = c(0, 162000), ylab = "Uds", xlab = "Tiempo", bty = "l", xaxt =  
"n", xlim = c(2017,2022), main = "")
```

```
axis(1, at = seq(2017, 2022, 1), labels = format(seq(2017, 2022, 1)))
```

```
lines(c(2022.00, 2022.00), c(-400, 280))
```

```
lines(c(2024.00, 2024.00), c(-400, 280))
```

```
lines(ST,col= "red")
```

```
##### MODELO BEST BUCLE
```

```
prediccion = forecast(arima.fit.entrenamiento, xreg =33) #
```

```
prediccion
```

```
par(mfrow=(c(1,1)))
```

```
plot(prediccion, ylim = c(0, 162000), ylab = "Uds", xlab = "Tiempo", bty = "l", xaxt =  
"n", xlim = c(2017,2022), main = "")
```

```
axis(1, at = seq(2017, 2021, 1), labels = format(seq(2017, 2021, 1)))
```

```
lines(c(2019.00, 2019.00), c(-400, 280))
```

```
lines(c(2021.00, 2021.00), c(-400, 280))
```

```
lines(ST,col= "red")
```



```
#####
```

```
# CALCULAMOS EL ERROR DE PREDICCIÓN
```

```
#####
```

```
PredictionValidacion=forecast(arima.fit, validation.data)
```

```
PredictionValidacionAA=forecast(arima.fit.entrenamientoAA, h=33)
```

```
ACC_AutoArima<-accuracy(PredictionValidacionAA, Validation.data)
```

```
ACC_AutoArima
```

```
PredictionValidacionBucle=forecast(arima.fit.entrenamientoBUCLE, h=33)
```

```
ACC_Bucle<-accuracy(PredictionValidacionBucle, Validation.data)
```

```
ACC_Bucle
```