

**UNIVERSIDAD CAMILO JOSÉ CELA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
PROGRAMA DE DOCTORADO: CIENCIAS JURÍDICAS Y
ECONÓMICAS**

TESIS DOCTORAL

**LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS
CRIPTOMONEDAS COMO UN ASSET CLASS:
CONSIDERACIONES ECONÓMICAS Y JURÍDICAS**

Autor: MIGUEL ÁNGEL GARCÍA-RAMOS LUCERO

Dirigida por:

Dr. Fernando Gallardo Olmedo (Universidad Autónoma De Madrid)

Dr. Ricardo Rejas Muslera (Universidad Camilo José Cela)

Tutor:

Dr. Juan Ramón Cuadrado Roura (Universidad Camilo José Cela)

Madrid, octubre de 2023

**UNIVERSIDAD CAMILO JOSÉ CELA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
PROGRAMA DE DOCTORADO: CIENCIAS JURÍDICAS Y
ECONÓMICAS**

TESIS DOCTORAL

**LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS CRIPTOMONEDAS
COMO UN ASSET CLASS: CONSIDERACIONES
ECONÓMICAS Y JURÍDICAS**

Autor: Miguel Ángel García-Ramos Lucero

Dirigida por:

Dr. Fernando Gallardo Olmedo (Universidad Autónoma De Madrid)

Dr. Ricardo Rejas Muslera (Universidad Camilo José Cela)

Tutor:

Dr. Juan Ramón Cuadrado Roura (Universidad Camilo José Cela)

Firma del Tribunal

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Calificación:

Madrid, octubre de 2023

UNIVERSIDAD CAMILO JOSÉ CELA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
PROGRAMA DE DOCTORADO: CIENCIAS JURÍDICAS Y ECONÓMICAS

Autor:

Miguel Ángel García-Ramos Lucero

Dirigida Por:

Dr. Fernando Gallardo Olmedo (Universidad Autónoma De Madrid)

Dr. Ricardo Rejas Muslera (Universidad Camilo José Cela)

RESUMEN

La tesis pretende generar valor en el conocimiento científico de los criptoactivos. Parte de una conceptualización y definición de los criptoactivos, y de la tecnología subyacente Blockchain, así como un análisis descriptivo de las implicaciones jurídicas, sociales y económicas del fenómeno Fintech en general y los criptoactivos en particular. Se analizan los diversos enfoques de las principales jurisdicciones para la regulación de los criptoactivos y un marco teórico para la valoración de los mismos como base de análisis, que suponen una oportunidad y un reto para el sistema monetario, financiero y la estabilidad fiscal. Centrados en las criptomonedas y el Bitcoin, se incorpora un estudio empírico financiero profundo para la valoración del binomio rentabilidad-riesgo de las criptomonedas con otras alternativas de inversión y una optimización de cartera para mejorar el conocimiento en la gestión de inversiones. De esta forma, las criptomonedas son consideradas en la asignación de activos. Centrados en el Bitcoin, la tesis incorpora diversas metodologías estadísticas y econométricas de series temporales (autorregresivo, redes neuronales) para la modelización del precio del Bitcoin, y se completa el análisis con consideraciones de las criptomonedas como activo ESG, su papel en la RSC (responsabilidad social corporativa) y el actual fenómeno de la transición digital. La tesis obtiene conclusiones relevantes en cuanto a la elevada volatilidad de las criptomonedas y el carácter leptocúrtico de su distribución para la gestión de riesgos, las cuales tienen implicaciones para la creación de valor en términos relativos a su rentabilidad en el horizonte temporal considerado y la reducida correlación con otras alternativas de inversión, por lo que se califica como un activo financiero apto. En cuanto al análisis de la serie temporal, no se encontró una relación dinámica, ni con técnicas lineales ni con modelos de redes neuronales, por lo que se concluye que el Bitcoin sigue un camino aleatorio.

Palabras claves: Criptomonedas, Asset Class, Criptoactivos, Blockchain.

UNIVERSIDAD CAMILO JOSÉ CELA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
PROGRAMA DE DOCTORADO: CIENCIAS JURÍDICAS Y
ECONÓMICAS

Autor:

Miguel Ángel García-Ramos Lucero

Dirigida Por:

Dr. Fernando Gallardo Olmedo (Universidad Autónoma De Madrid)

Dr. Ricardo Rejas Muslera (Universidad Camilo José Cela)

ABSTRACT

The thesis aims to generate value in the scientific knowledge of cryptoassets. It starts from a conceptualization and definition of cryptoassets, the underlying Blockchain technology, as well as a descriptive analysis of the legal, social and economic implications of the Fintech phenomenon in general and cryptoassets in particular. It discusses the various approaches of the main jurisdictions to the regulation of cryptoassets and a theoretical framework for the valuation of cryptoassets as a basis for analysis, which represent an opportunity and a challenge for the monetary system, financial and fiscal stability. Focused on cryptocurrencies and Bitcoin, an in-depth empirical financial study is incorporated, for the relative valuation with the return-risk profile of cryptocurrencies, with other investment alternatives and a portfolio optimization to improve knowledge in investment management, for the consideration of cryptocurrencies in asset allocation. Focused on Bitcoin, the thesis incorporates various statistical and econometric time series methodologies (autoregressive, neural networks), for Bitcoin price modeling, and the analysis is completed with considerations of cryptocurrencies as an ESG asset, their role in CSR (corporate social responsibility) and the current phenomenon of the digital transition. The thesis obtains relevant conclusions regarding the high volatility of cryptocurrencies and the leptokurtic nature of their distribution for risk management, for value creation in terms relative to their profitability over the time horizon considered and the reduced correlation with other investment alternatives, thus qualifying them as a suitable financial asset. As for the analysis of the time series, no dynamic relationship was found, neither by linear techniques, nor neural network models, so it is concluded that the Bitcoin follows a random walk.

Keywords: Cryptocurrencies, Asset Class, Cryptoassets, Blockchain.

ACTA DE APROBACIÓN

A mi padre Francisco Javier, siempre en mi recuerdo y referente.
A mi hija Carlota, por ser mi ilusión y motivación para seguir adelante.
A mis co-directores, por su guía, orientación y consejos durante la elaboración de la
tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pag
ÍNDICE	
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
INTRODUCCIÓN	1
Justificación del interés de la Cuestión y contextualización.	1
Objetivos	3
Metodología	5
Hipótesis	5
Capítulo I	
DELIMITACION CONTEXTUAL Y MERCADO DE LOS CRIPTOACTIVOS	9
Blockchain y tokenización	9
Sobre blockchain y sus aplicaciones	9
Tokens electrónicos y tipología de tokens	13
Criptoactivos	14
Definición y tipos de criptoactivos	14
Principales criptomonedas	16
Diferencias entre criptomonedas y divisas oficiales	26
Criptografía. Proceso de creación y registro de las criptomonedas	27
Objetivos de la criptografía	29
El mercado de las criptomonedas: datos y magnitudes	30
Capítulo II	
ESTUDIO DE LAS TENDENCIAS REGULATORIAS DE LAS CRIPTOMONEDAS EN LAS PRINCIPALES JURISDICCIONES	37
Introducción	37

Ámbitos legislativos relevantes con relación a las criptomonedas	37
Regulación en los Estados Unidos	66
Regulación en la Unión Europea	76
Regulación en España	83
Regulación en Japón	88
Conclusiones	92
Capítulo III	
MARCO TEÓRICO DE LA VALORACIÓN DE LAS CRIPTOMONEDAS	96
Teoría cuantitativa del dinero	97
Ley de Metcalf	99
Metodología del valor presente neto (VPN)	101
La Teoría del Mercado Eficiente (Efficient Market Theory)	103
Teoría sobre el Comportamiento Humano dentro de las Finanzas: el Behavioural Finance	104
Valor metagame	106
Análisis Fundamental	106
Otras propuestas para la valoración de las criptomonedas	107
Capítulo IV	
ESTUDIO E INVESTIGACIÓN ECONÓMICA	
Objetivos del Capítulo.	110
Teoría sobre series temporales estadísticas y redes neuronales.	110
Metodología matemática-estadística utilizada en los enfoques de la comunidad científica	114
Situación de las criptomonedas en el mapa de activos objeto de inversión.	125
Materiales y métodos	126
Aspectos psicológicos en las finanzas (behavioural finance)	149
Análisis y valoración de las criptomonedas como inversión ESG y su papel en la RSC	157
Análisis empírico estadístico del precio de la criptomoneda Bitcoin	166
Aplicación en el precio del Bitcoin del modelo LSTM (redes neuronales)	181

Conclusión	197
CONCLUSIONES	199
Futuras líneas de investigación	211
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	215

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Sistema de pago blockchain	10
2	Análisis de asimetría y curtosis	144
3	Arquitectura de una red LSTM	184
4	Descripción de redes neuronales	191
5	Modelos de redes neuronales	191

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Pág
		.
1	Monedas Fiat Vs Criptomoneda	27
2	Resumen de tendencias regulatorias de criptomonedas de Europa, Estados Unidos y Japón	95
3	Pruebas estadísticas para definir las estrategias de negociación en criptomonedas	104
4	Resumen de otras propuestas de valoración de criptomonedas	108

LISTA DE TABLAS

Tabla		Pág
		.
1	Correlaciones entre criptomonedas.	118
2	Estadísticas de los activos financieros	132
3	Análisis de la desviación típica outliers	137
4	Matriz de correlaciones entre activos	146
5	Optimización de la cartera	147
6	Optimización de la cartera con Bitcoin	149

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico		Pág.
1	Clasificación de Criptomonedas por Capitalización MM USD (Abril 2023)	31
2	Bitcoin/USD (número de dólares de Estados Unidos por unidad de Bitcoin) De 2014 a mayo 2023	32
3	Capitalización del mercado de criptomonedas de 2014 a mayo 2023	33
4	Capitalización total del mercado de criptomonedas excluyendo Bitcoin de 2014 a mayo 2023	34
5	Demanda histórica de electricidad de la red Bitcoin (2017-2023)	35
6	Total del consumo eléctrico del Bitcoin (2017-2023)	36
7	Precio proyectado basado en crecimiento de transacciones a valor presente neto	102
8	Rentabilidad media (valor absoluto) de las criptomonedas por día de semana	129
9	Indice de renta variable S&P500	133
10	Futuro sobre bono alemán a 10 años	134
11	Gráfico de cajas (bloxplots) con análisis outliers	136
12	Explicación de los bloxplots o diagramas de caja.	138
13	Distribuciones estadísticas de variaciones de precios por familia de activos	139
14	Distribuciones estadísticas de variaciones de precios por familia de activos con escala centralizada	140
15	Comparativa de distribución normal Vs normal de Criptomonedas	141
16	Comparativa de distribución normal Vs normal de Divisas tradicionales	141
17	Comparativa de distribución normal Vs normal de Renta Fija Europea	142
18	Comparativa de distribución normal Vs normal de Renta Fija Americana	142
19	Comparativa de distribución normal Vs normal de la Bolsa Europea	143
20	Comparativa de distribución normal Vs normal de la Bolsa Americana	143
21	Cotización BTC a cierre de jornada (datos de entrenamiento)	169
22	Función de autocorrelación simple para el AR(1)	171
23	Función de autocorrelación parcial para el AR(1)	171
24	Función de autocorrelación simple de los residuos	173
25	Función de autocorrelación parcial de los residuos	174
26	Volumen de operaciones diarias en el mercado BTC	175
27	Cotización BTC a cierre de jornada (datos de entrenamiento)	176
28	Localización de los outliers en los datos originales	179
29	Predicción del modelo para el intervalo no visto por el algoritmo	181
30	Cotización del Bitcoin	186
31	Tasa de error de entrenamiento y validación	192
32	Tasa de error de entrenamiento y validación	194
33	Precios Bitcoin	195
34	Estimación modelo de cotización Bitcoin	196
35	Capacidad de predicción del modelo LSTM	204

INTRODUCCIÓN

Justificación del interés de la cuestión y contextualización

La elección de los criptoactivos como eje central de esta tesis se fundamenta en varias razones. En primer lugar, se debe a nuestro especial interés en la gestión de carteras y el desarrollo de los activos y mercados financieros. En segundo lugar, se debe a la importancia de los avances tecnológicos en la actualidad y su efecto en el cambio de las relaciones económicas y sociales. No obstante, a pesar de la fuerte dinámica de evolución de la tecnología y las finanzas (fenómeno denominado Fintech) la innovación en materia de criptoactivos supone una revolución monetaria y un reto a nivel regulatorio de inmensa actualidad e importancia. Esta emergente tecnología sobre la que se articula la implementación de los criptoactivos presenta ventajas y desventajas. En este escenario, la irrupción de los criptoactivos y de la tecnología subyacente Blockchain supone un verdadero “terremoto” en el sistema monetario y económico global (Sánchez-Terán Manzanedo, 2022).

Sin duda alguna, los criptoactivos han irrumpido en el sistema financiero global aportando aspectos positivos y negativos de gran actualidad. Según algunos autores (Turbay Lopera & Restrepo Ramirez, 2022), los criptoactivos pueden modificar el modelo tradicional de la creación del dinero. Sin embargo, este es un asunto en el que la investigación, aún escasa, no ha llegado a conclusiones relevantes.

Los niveles de intermediación (volumen de brokerage) y capitalización de los criptoactivos se han incrementado de forma exponencial desde la aparición del Bitcoin en 2008 (Pérez Fernández, 2022). La valoración es aún residual frente a la totalidad del sistema monetario, pero su potencial y posibles consecuencias ha

alertado a reguladores y organismos multinacionales. A pesar que después de la cumbre del G20 celebrada en Osaka en junio de 2019 los líderes afirmaban que las criptomonedas no suponían una amenaza para la estabilidad monetaria, e incluso afirmaban explícitamente que “la innovación tecnológica puede generar un beneficio significativo para la economía” (G20, 2019), gran parte de los reguladores han iniciado reformas o iniciativas legislativas necesarias para la protección del inversor minorista y prevención de su utilización para actividades ilícitas. La regulación, aún con matices pendientes y en proceso de adopción en algunas jurisdicciones, jugará un papel fundamental en el futuro escenario de los criptoactivos, lo cual es necesario debido a su utilización para las transacciones de actividades delictivas. La regulación es de extrema importancia, como así lo ha recalcado el Consejo de Estabilidad Financiera o FSB (Financial Stability Board), el cual está fomentando una consolidación regulatoria a nivel global tras el escenario de “extrema volatilidad intrínseca, vulnerabilidades estructurales y su creciente interconexión con el sistema financiero tradicional”. En este sentido, el FSB asegura que está colaborando con otros organismos para impulsar y homogeneizar, entre otras cuestiones, la regulación y supervisión de los activos "sin respaldo" y las stablecoins o las "monedas estables". Esta institución añade también que “informarán a los ministros de finanzas y gobernadores de los bancos centrales del grupo sobre los enfoques regulatorios y de supervisión que están desarrollando” (FSB, 2022).

Por tanto, existe una coyuntura donde la tecnología está modificando el escenario del sistema monetario. Además, la tecnología es disruptiva, emergente y en muchos aspectos su análisis científico y estadístico de los miles de criptoactivos existentes carece de base científica suficiente. Por tanto, es necesario profundizar en su conocimiento para poder consolidar su adopción como *asset class* en las carteras de los inversores institucionales. Esta tesis pretende contribuir, aunque sea

parcialmente, a abordar ese *research gap* y aportar al conocimiento necesario para la adopción de decisiones.

La actualidad del fenómeno es inmensa y el debate inunda la prensa económica. Actualmente, existe un inmenso debate sobre la viabilidad o no del futuro de los criptoactivos y si este “grito de libertad liberal” del sistema monetario podrá sobrevivir derivado durante las últimas fechas por la quiebra de la plataforma FTX. La descentralización masiva del mundo financiero podría desvanecerse y la cotización de las criptomonedas ha sufrido importantes correcciones (denominando estas crisis “criptoinvierno”).

Objetivos

Los objetivos de la tesis son:

- Colaboración en la definición y conocimiento del binomio rentabilidad-riesgo de los criptoactivos como activo financiero en términos absolutos y relativos a otras opciones de inversión. La hipótesis formulada es: ¿aportan valor los criptoactivos a la formación de algunas carteras de inversión?
- Profundizar en la modelización matemática-estadística del precio de la criptomoneda Bitcoin con la hipótesis de la aplicabilidad de los modelos ARIMA.
- Continuando con la hipótesis “¿Se puede modelizar la cotización del precio del Bitcoin?”, profundizamos en la metodología recurriendo a técnicas no lineales mediante las redes LSTM debido a que no precisan la serie sea estacionaria.
- Analizar la importancia de la regulación ante el reto legislativo que suponen las criptomonedas y los enfoques adoptados en las principales jurisdicciones.

Con el enfoque complejo de las series temporales univariantes intentamos la modelización del precio del Bitcoin mediante un modelo ARIMA, debido a su

elevada eficiencia en materias estadísticas para el establecimiento de previsiones, ya sean económicas como en este caso u otras ramas sociales obviamente susceptibles de cambios en función del tiempo. En este aspecto, se ha escogido la metodología de Box y Jenkins por su elevada versatilidad ya que incluye componentes subjetivos que permiten la selección entre una enorme variedad de modelos, así como monitorizar la validez del modelo propuesto. En la parte del estudio económico se realizan las transformaciones que se consideran para la consecución de la estacionariedad de la serie e intentar explotar la máximo las técnicas aplicativas del análisis predictivo de una serie temporal.

Sin duda, los modelos ARIMA otorgan metodologías más completas para la creación de modelos de los componentes de tendencia y estacionales que aquellas modelizaciones de suavizado exponencial y además otorgan el valor añadido de la posibilidad de inclusión de variables de predicción.

Como se detalla y razona en la parte de estudio económico, se considera necesario la aplicación de modelizaciones de redes LSTM las cuales son adecuadas para manejar series cronológicas (Fernández Salguero, 2021). Se considera una evolución lógica en el análisis y objetivo para poder disponer de un modelo válido previsor del precio del Bitcoin. Las redes neuronales tienen elevada utilidad para prever valores futuros de series temporales.

La posibilidad de poder prever el precio o rentabilidad de un activo financiero o criptomoneda generaría un inmenso valor añadido a la gestión de inversiones debido que es un objetivo fundamental para la reducción de riesgo en el proceso de toma de decisiones (Batres-Estrada, 2015). Por su carácter estocástico, los mercados financieros representan un área muy prometedora para el análisis estadístico e investigación financiera. En este aspecto, los nuevos activos objeto de esta tesis significan un nuevo campo de aplicación.

Por su elevada volatilidad y carácter emergente, las metodologías analíticas tradicionales como tratamientos paramétricos pueden mostrar carencias para procesar series financieras complejas (Guisande González, Vaamonde Liste, & Barreiro Felpeto, 2013), sobre todo las financieras no lineales. Las herramientas *deep learning* son modelos de elevada potencia y eficientes con gran volumen de datos y brindan nuevos conocimientos sobre los patrones de los mercados financieros (Fischer & Krauss, 2018). El *deep learning* genera un valor añadido en la metodología analítica de series temporales y supone un arquetipo nuevo en el análisis financiero empírico y la creciente demanda de pronósticos.

Metodología

Con objeto de realizar la presente tesis hemos intentado seguir, en su máxima rigurosidad, todos los pasos planteados en el método científico. Nuestro fin último es generar conocimiento científico en el emergente sector de los criptoactivos, lo cual consideramos necesario. De hecho, según un estudio impulsado por el regulador español CNMV (Estudio sobre las criptomonedas y la efectividad de las medidas impulsadas por la CNMV, mayo-junio de 2022) afirmaban que, a pesar de que el 75,8% de la población española ha oído hablar o sabe en alguna medida qué es una criptomoneda, el grado de conocimiento general es aún muy reducido. Además, sólo el 6,8% de la muestra de población encuestada había invertido alguna vez en criptomonedas.

Hipótesis

Se plantean las siguientes hipótesis:

- *¿Aportan valor las criptomonedas a la formación de algunas carteras de inversión?*
- *¿Se puede modelizar la cotización del precio del Bitcoin?*

Mediante una metodología hipotética deductiva se intenta responder a las hipótesis planteadas mediante la contrastación de datos empíricos y aplicación de metodologías estadísticas de series temporales. Así, desde un punto de vista estocástico se intenta analizar la dependencia entre los datos basando el análisis en un modelo explícito siguiendo todos los pasos: recogida y tratamiento de una amplia base de datos, transformación de la serie, identificación del modelo, estimación de los coeficientes y contraste de la validez. La aplicación se ha realizado mediante un modelo ARIMA y, posteriormente, con redes neuronales. Existen trabajos (Ripley, 1996) que han analizado las redes neuronales y técnicas estadísticas convencionales. En general, ningún estudio es totalmente concluyente (por ello aplicamos ambos) pero las redes (las cuales permiten buscar la combinación de parámetros que mejor se ajusta a un determinado problema) han mostrado una aptitud clasificatoria, al menos igual que las técnicas estadísticas tradicionales, con la virtud de poderse aplicar de manera independiente del cumplimiento de los supuestos teóricos relativos a estas técnicas (técnicas no paramétricas).

La tesis incorpora un elevado trabajo de tratamiento y obtención de conclusiones empíricas comparando estadísticas de las criptomonedas con otros *asset classes* y realizando una optimización de carteras para la respuesta de la primera hipótesis. Además, para la respuesta a la segunda hipótesis, una investigación científica con una base de datos de cotización del Bitcoin y aplicando los lenguajes de programación R y Python. Estos dos lenguajes son de los más utilizados para el análisis de datos y su procesamiento mediante metodologías de minado de datos e inteligencia de negocios. Python ha experimentado un uso creciente ya que incorporan librerías que implementan funciones para cálculos matemáticos y estadísticos (como Numpy y Pandas) y debido a su elevada versatilidad. R también presenta dicha ventaja de su versatilidad y se configura como un lenguaje de programación de código abierto muy orientado al análisis

estadístico, muy útil para la minería de datos. R incorpora operaciones con matrices y vectores para la manipulación de datos y es muy preciso y exacto con los mismos. R además tiene implementados numerosos algoritmos para el denominado *machine learning* (rama de la denominada inteligencia artificial que permite que las máquinas aprendan sin ser específicamente programadas).

Se ha intentado seguir una metodología ascendiente en cuanto a la capacidad predictiva y explicativa de las técnicas utilizadas intentando verificar primero la serie como un problema de regresión y posteriormente como un fenómeno de naturaleza estocástica.

La tesis incorpora una doble vertiente: jurídica y económica. En ambas vertientes incorporan métodos analíticos y descriptivos. Se incorpora la descripción cualitativa de las criptomonedas como un activo ESG (Environmental, Social and Governance), aspecto muy relevante en la industria de la gestión de inversiones en la actualidad. La tesis incorpora un profundo estudio descriptivo sobre las aproximaciones regulatorias al gran desafío que supone esta tecnología. Se incorpora un estudio analítico-descriptivo de las iniciativas legislativas ya que ocupan un lugar preeminente en la agenda. Los cryptoactivos existen desde hace 14 años, pero ha sido en fechas recientes cuando las autoridades regulatorias han adoptado como objetivo su incorporación al marco normativo debido a su incorporación a las inversiones financieras especulativas e instrumentos de pago.

Los esfuerzos por regularlos están siendo enormes, debido al fuerte incremento de la capitalización de las criptomonedas y su incorporación al sistema financiero regulado (Narain & Moretti, September 2022). La necesidad de regulación se ve acrecentada por la elevada volatilidad, así como cierres y fraudes acaecidos en fondos y exchanges (plataformas de intermediación). Es un desafío inmenso debido a la velocidad de la innovación tecnológica y la irregularidad de los datos.

La motivación de la realización de la tesis es profundizar en el conocimiento del efecto del cambio del modelo de los negocios e inversiones derivado del desarrollo de las tecnologías de la información. Es un fenómeno que supone una de las mayores revoluciones en el sector financiero y económico en la historia. Los criptoactivos suponen la última revolución en el proceso: digitalización bancaria, el sistema P2P (*peer-to-peer*) que supone el denominado conglomerado shadow-banking y por último las criptomonedas que ganan importancia. El universo de criptoactivos genera elevada controversia y existe un fuerte debate en ambientes económicos y académicos con relación a su naturaleza. Además, sus características han llamado la atención de las autoridades debido a la consideración de los posibles efectos de la liquidez y el blanqueo de capitales.

En el panorama actual de la coyuntura económica, entre los principales debates surgen los siguientes:

- ¿Cuál será el efecto definitivo del nacimiento de los criptoactivos en el sistema monetario?
- ¿Cuáles son las variables que determinan la variación del precio de los mismos?
- ¿Añaden valor las criptomonedas a las carteras tradicionales?
- ¿Qué posibles efectos puede tener para la liquidez mundial la emisión de criptomonedas?

Los criptoactivos pueden modificar la arquitectura monetaria y financiera a escala global. De ahí el interés de la realización de la presente tesis.

CAPÍTULO I

DELIMITACIÓN CONCEPTUAL Y MERCADO DE LOS CRIPTOACTIVOS

Los criptoactivos son un tipo de token electrónico que utilizan la tecnología blockchain para su funcionamiento. El origen del nombre “criptoactivo”, viene de “kruptos”, que en griego hace referencia a lo secreto, en este caso se refiere a la “criptografía”, la cual es un proceso tecnológico para enviar información de forma segura y reservada.

Por ello, resulta conveniente comenzar con un análisis de la tecnología blockchain y de la tokenización. A continuación, se analizan con detalle las cuestiones conceptuales y descriptivas de los criptoactivos. A este respecto, se definirán y se expondrán los distintos tipos de criptoactivos, se presentarán las principales criptomonedas que han surgido y se analizarán las cuestiones relacionadas con su funcionamiento. Este análisis permitirá presentar las diferencias entre las denominadas criptomonedas y las monedas oficiales. Posteriormente, y para finalizar este capítulo, se abordará el análisis del mercado de los criptoactivos, prestando una especial atención al tamaño y capitalización del mercado y a la evolución del precio de las principales criptomonedas.

Blockchain y tokenización

Sobre blockchain y sus aplicaciones

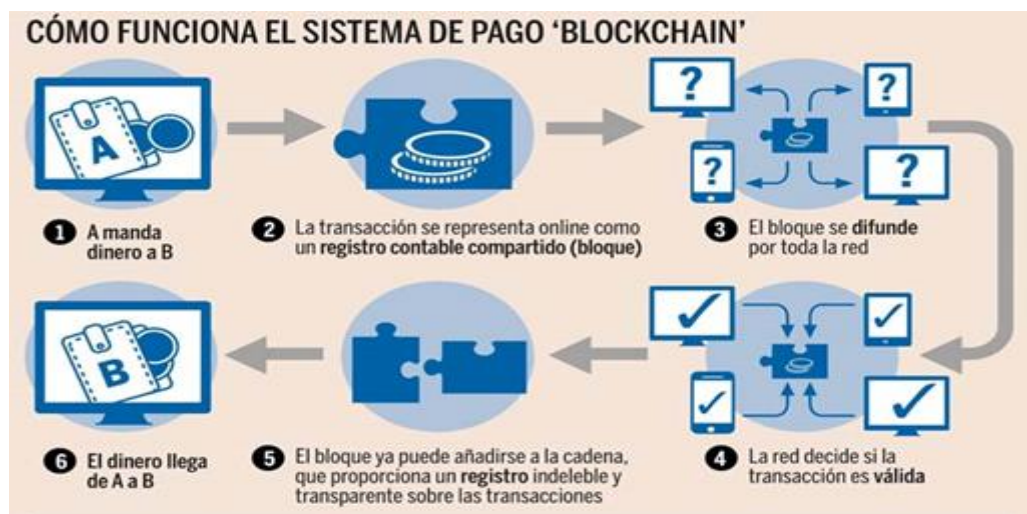
La tecnología blockchain tiene numerosas aplicaciones. Se emplea para el registro y verificación de criptoactivos, para la creación de *smart contracts* o contratos inteligentes y la tokenización. Asimismo, se han expandido también

hacia la trazabilidad y la identidad digital. Cada una de estas aplicaciones se describe a continuación.

Registro y verificación de datos.

La idea esencial del Blockchain, tal y como hace referencia el nombre, es que se trata de una cadena informática de bloques. Puede asemejarse a un libro de registros que contienen los bloques generados a través de las distintas transacciones, los cuales están conectados y cifrados, constituyendo, así, una base de datos distribuida y segura. Para que funcione de forma correcta la cadena de bloques, varios usuarios deben verificar la información.

Figura 1
Sistema de pago blockchain



Fuente: Tomado de Financial Times-Expansión.

Por otro lado, cada bloque contiene un gran número de transacciones. A medida que se van añadiendo las transacciones, el bloque llega al punto donde ya no admite más y debe validarse y sellarse, esto es lo que los mineros hacen al llevar a cabo la denominada minería¹.

¹ ¿Qué es la minería? El minado explica cómo se generan los bloques dentro de la blockchain. La cadena contiene bloques con información y transacciones. Para que las transacciones puedan fluir, se necesita la

En este sistema descentralizado los datos son comprobados mediante el denominado mecanismo de consenso (*Proof of Work* y *Proof of Stake*). *Proof of Work* (PoW) o prueba de trabajo, y *Proof of Stake* (PoS) o prueba de participación son algoritmos de consenso con diferentes sistemas o formas para la verificación de las transacciones. El *Proof of Work*, utiliza algoritmos o acertijos criptográficos muy difíciles de resolver por lo que demanda mayor consumo de energía (el minero que resuelve el acertijo matemático que lanza el sistema es el que recibe el premio en forma de nuevas unidades de criptomonedas); mientras que *Proof of Stake* nace con la intención de solventar los problemas asociados al *Proof of Work*, buscando dar mayor seguridad y posibilidades de escalar en la red. El PoS plantea que, a mayor tiempo en la red y mayor número de criptoactivos, más posibilidades de acceder a bloques de la red (Otero & Oliver, 2022).

Un aspecto importante que conviene destacar es el elevado nivel de seguridad del sistema. La cadena de bloques es inviolable ante una posible modificación del libro de registro (Berentsen, 2018). Los mineros recogen transacciones pendientes de una criptomoneda, las verifican y las encadenan en lo que denominan “bloque candidato”² con objeto de ganar nuevas emisiones de la misma. El acceso suele ser libre, como es el caso del bitcoin, y, por lo tanto, no es necesario autorización para convertirse en minero. Basta descargarse el software y la copia más reciente de la cadena.

Smart contracts

Smart contracts o contratos inteligentes, son acuerdos entre las partes que definen las condiciones y criterios que se deben cumplir en una transacción. A diferencia de los contratos jurídicos que se plasman en un documento físico, los

confirmación por parte de los mineros. Los denominados mineros compiten entre ellos con objeto de ser remunerados con unidades de criptomoneda. (Zibin Zheng, 2017). Es una red P2P (*peer to peer*) en la que los mineros compiten entre sí para validar un bloque. El primero que crea un bloque válido y lo sella, recibe nuevas criptomonedas como recompensa (Retamal, Roig, & Muñoz Tapia, 2017).

² Toda nueva transacción debe ser validada por los mineros, de allí que no se pueda sumar al Blockchain hasta ser verificada, hasta entonces, ese será un “bloque candidato”.

contratos inteligentes, se realizan mediante “*un programa informático que codifica las operaciones que deben llevarse a cabo dependiendo de sucesos externos al programa*” (Arroyo, Díaz & Encina, 2019).

El contrato inteligente posee varias propiedades que le distinguen. En primer lugar, se trata de un contrato consensuado entre las partes, es decir, no es impuesto por un solo ordenador. En segundo lugar, su integridad se preserva a través de criptografía. En tercer lugar, existe un registro público, es decir, los datos estarán disponibles en la red. Estas tres propiedades conforman la inmutabilidad de los contratos (Arroyo, Díaz & Encina, 2019).

Tokenización

El término tokenización no es otra cosa que la representación de un derecho (personal o real, o sobre un bien tangible o intangible) en un registro distribuido (blockchain) privado a efectos legales y público a efectos tecnológicos, materializándose dichas representaciones en anotaciones contables unitarias llamadas tokens (Maldonado, 2019). Más adelante se profundizará más en este concepto.

Trazabilidad

La trazabilidad se define como la “*posibilidad de identificar el origen y las diferentes etapas de un proceso de producción y distribución de bienes de consumo*” (RAE, 2023). En el caso del blockchain, la trazabilidad viene dada, como ya se mencionó, por su inviolabilidad, lo que da mayor confianza en el momento de realizar cualquier transacción y las posibilidades de falsificar los productos es prácticamente nula.

Identidades digitales

Se refiere a la posibilidad real de utilizar la tecnología blockchain para gestionar los datos de identidad de las personas. Esta aplicación es de inmensa utilidad incluso para entidades gubernamentales.

Tokens electrónicos y tipología de tokens

Los tokens son vales o vouchers electrónicos implementados mediante la tecnología Blockchain y susceptibles de transmisión. Los tokens (ficha, en inglés) son una unidad de valor emitida por una entidad privada. Mougayar (2016) definió los tokens como “*una unidad de valor que una organización crea para gobernar su modelo de negocio y dar más poder a sus usuarios para interactuar con sus productos, al tiempo que facilita la distribución y reparto de beneficios entre todos sus accionistas*”. Se pueden diferenciar los siguientes tipos de tokens:

- *Payment tokens*. Se utilizan como medio de pago de bienes y servicios, siempre que el vendedor lo acepte como medio de pago en la transacción. En esta categoría están las denominadas criptomonedas.
- *Utility tokens*. Se utilizan como derecho al acceso a un bien o servicio en el futuro.
- *Securities and investment tokens*. Son activos financieros en formato digital.
- *NFT o non-fungible token*. Son tokens únicos, indivisibles y transferibles.

Los tokens tienen diferentes usos y utilidades, como comentamos anteriormente. No obstante, independientemente de su tipología y aplicación, los tokens se han revelado como un método eficaz utilizado por algunas *start ups* tecnológicas para captar capital en su etapa más inicial de su ciclo de negocio. Es decir, son un elemento de la denominada desintermediación financiera en el Fintech y una alternativa al *venture capital*. Además, los tokens son instrumentos que pueden contribuir a ampliar las fuentes de financiación de la PYME.

En lugar de hacer ampliaciones de capital o intentar convencer a fondos de *venture capital* (capital riesgo), las empresas de blockchain se financian con frecuencia mediante ICO's (*Initial Coin Offering*). Los tokens se ofrecen en una subasta y se utilizan para financiar los proyectos.

El desarrollo del token está ligado de manera estrecha a su proceso de madurez a nivel regulatorio. Las “ampliaciones de capital” mediante ICO’s no están aún bien definidas jurídicamente.

Criptoactivos

Definición y tipos de criptoactivos

Breve historia y origen de los criptoactivos

Las criptomonedas son un nuevo concepto del dinero. Se trata de un medio de intercambio que no está respaldado ni sujeto a la supervisión operativa de ningún Estado ni Banco Central. Nacieron con la pretensión de lograr una mayor eficiencia en costes y han logrado aceptación entre los agentes económicos que optan por su utilización. La más popular es el Bitcoin creada en 2009 por Satoshi Nakamoto (se desconoce si Satoshi Nakamoto es una persona o un grupo de personas, su creador es un misterio).

Definición

Se puede definir un criptoactivo, según el Reglamento sobre los Mercados de Criptoactivos (más conocido como MiCA), como “una representación digital de un valor o un derecho que puede transferirse y almacenar electrónicamente, utilizando tecnología de libro mayor distribuido o tecnología similar”. El Reglamento se aprobó el 20 de abril de 2023 por el Parlamento Europeo dotando de seguridad jurídica a un mercado clave para la economía digital. Este tipo de instrumento se desarrolló, inicialmente, con el objetivo de ser utilizado como medio de pago para adquirir bienes y servicios. En un principio las ventajas competitivas que se pensaba que iba a aportar eran, por un lado, un ahorro de costes de transacción en forma de comisiones y, por otro lado, la confidencialidad de las operaciones de pago. Estas ventajas se derivan de la tecnología blockchain utilizada por las criptomonedas, en la cual no interviene ningún tipo de intermediario financiero.

Creemos muy importante la delimitación conceptual y la aclaración de los términos utilizados en la tesis para evitar confusiones conceptuales ya que la terminología es confusa (Walch, *The Path of the Blockchain Lexicon (and the Law)*, 2017). El término “criptoactivo” lo utiliza MiCA como denominación unívoca. Los criptoactivos son activos virtuales, no tangibles y que, como hemos dicho, tienen su origen en la criptografía. Las criptomonedas son un tipo de criptoactivo, es decir, un medio digital de intercambio. La primera definición, más próxima al concepto criptoactivo, la estableció el artículo 3 de la Directiva (UE) 2015/849 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de mayo de 2015, relativa a la prevención de la utilización del sistema financiero para el blanqueo de capitales o la financiación del terrorismo

Según el BCE en 2015, las denominadas “divisas virtuales” es una “representación digital de valor, no emitidas por un banco central, institución de crédito o e-money, las cuales, en algunas circunstancias, pueden utilizarse como alternativa al dinero”. Según el Banco de España, las criptomonedas son “también llamadas monedas digitales o virtuales, son instrumentos de pago sin soporte físico basadas en un algoritmo matemático, el *blockchain* o la cadena de bloques”.

Debido a que la MiCA utiliza el término “criptoactivo” como término genérico (a pesar que hace referencia a las criptomonedas), será el que principalmente se utilice en la presente tesis como término general y criptomoneda como más específico dentro de los anteriores.

Clasificación

Las criptomonedas son heterogéneas y existen diversas clasificaciones atendiendo a diversos parámetros para categorizarlas. De este modo, algunos las clasifican en función del respaldo o en función del límite de emisión. Así, a continuación, se reseña una clasificación que engloba, en gran manera, lo relacionado con el límite y el respaldo, esto es: Bitcoin, Altcoins, Stablecoins y Shitcoins.

Bitcoin. Es la primera criptomoneda creada en 2009. Se trata de una moneda digital que funciona a través de una base de datos blockchain descentralizada, por lo que no posee un administrador único. La emisión de Bitcoins es limitada. Es considerada la criptomoneda de referencia en el mercado.

Altcoins. Surgieron como criptomonedas alternativas a Bitcoin y hoy existen más de nueve mil (según coinmarketcap.com) criptomonedas en el mercado.

Stablecoins. Son criptomonedas que buscan mantener un precio estable y reducir la volatilidad que las caracteriza. Esto se consigue siendo respaldadas por una moneda fiduciaria (como el dólar, por ejemplo). Es decir, por cada criptomoneda o token estable se deposita en una cuenta un dólar, por ejemplo. Con esto se consigue que esta criptomoneda tenga un colateral y consecuentemente un valor intrínseco. Son un tipo de criptomoneda que se utiliza principalmente para comprar otras criptomonedas y no tienen una función especulativa. Un ejemplo de stablecoin es el Theter.

Principales criptomonedas

La web de referencia a nivel mundial sobre criptomonedas coinmarketcap.com. En ella se indica que, con datos de marzo de 2023, existen 9.200 aunque su número está descendiendo. De manera que a continuación se describirán brevemente, a modo de ejemplo, algunas de las principales criptomonedas, ya que sería prácticamente imposible mencionarlas a todas.

Bitcoin

El Bitcoin, creado por Satoshi Nakamoto en 2008, es la principal criptomoneda. No tiene una autoridad central reguladora y todos los operadores son homogéneos. Fue concebida en su origen para realizar operaciones de compra y venta de bienes y servicios, aunque también se pueden realizar transferencias de dinero (Vranken, 2017). En la actualidad, principalmente se ha convertido en un activo objeto de inversión especulativa.

Bitcoin nació como consecuencia de la pérdida de credibilidad sobre el sistema monetario y financiero tradicional durante la crisis financiera de 2008.

El objetivo inicial perseguido fue crear una moneda que no dependiese de ningún banco central, ni de un gobierno, ni cualquier otro ente administrativo que pueda controlar su libre movimiento en el mercado.

Durante los últimos años, el Bitcoin ha generado un enorme interés, principalmente debido a los espectaculares niveles de retorno positivo y negativo. Hasta ahora, los estudios se han centrado en si el Bitcoin es una divisa o un activo financiero, siendo ésta última la opción más aceptada. Además, se considera que la inversión en esta criptomoneda es esencialmente especulativa. Otros autores refuerzan esta idea. En este sentido (Lo & Wang, 2014) también dudan de que el bitcoin pueda sustituir a las divisas fiat tradicionales. El hecho de que el número máximo de Bitcoins esté limitado es un grave problema. En el caso que el Bitcoin se extienda y sustituya a divisas fiat gubernamentales, ello provocaría un estrangulamiento en la economía real debido a que la oferta monetaria no se incrementaría en línea con el crecimiento económico. No obstante, dentro de los partidarios y defensores del Bitcoin se considera una ventaja, ya que no es posible la manipulación o intervención de los bancos centrales.

La definición del Bitcoin como *asset class* es fundamental y controvertido. Existen aportaciones científicas y académicas que realizan análisis interesantes sobre las analogías entre el Bitcoin y el oro (Gu & Meech, 2014). Ambos proceden de la “minería”, ya que la minería es el término donde se “crean” o se ganan los Bitcoins mediante la resolución de problemas criptográficos. Además, ambos son vehículos de inversión.

Por otro lado, el Bitcoin y en general las criptomonedas, lentamente empiezan a ser consideradas como un *asset class* e incorporadas en las carteras de inversores institucionales y fondos de inversión (Pérez Silva, 2018).

Bitcoin Cash

El Bitcoin Cash (BCH) es una moneda que nace como consecuencia del “*hardfork*” que sufrió el Bitcoin el 1 de agosto de 2017. El *hardfork* es una bifurcación de una criptomoneda, lo cual da lugar a una división de su blockchain. El Bitcoin Cash tenía, frente al Bitcoin original, mayor velocidad de transacción y una estructura menos descentralizada. No obstante, ambas monedas tienen numerosas similitudes. Ambas monedas compartieron el historial de transacciones hasta el 1 de agosto de 2017 y la bifurcación mencionada se produjo por una discusión en la comunidad de la criptomoneda sobre la escalabilidad relacionada la gestión del crecimiento de la red (Amanintia, 2019).

El “*fork*” mencionado crea un duplicado, con el mismo histórico de transacciones en lugar de crear de cero una cadena de bloques. Los propietarios de Bitcoins antes del *fork*, poseen ahora esa misma cantidad en Bitcoin Cash, puesto que la cadena de bloques era la misma antes de la separación. Es decir, después del *hard fork*, el Bitcoin Cash se convirtió en una nueva moneda y separada.

La nueva moneda Bitcoin Cash argumenta que los bloques de las mayores transacciones resolverán el problema de escalabilidad. Cuanto mayor sea el número de transacciones que se introducen a un bloque en la red, las transacciones serán procesadas a una mayor rapidez. Para cuantificarlo, el tamaño del bloque de bitcoin es de 1MB. El Bitcoin Cash aumentó significativamente el tamaño del bloque hasta 8MB siendo incluso de mayor tamaño actualmente (32MB). En el tamaño de los bloques radica principalmente la diferenciación en el funcionamiento de ambas criptomonedas (López Domínguez & Medina Melón, 2020).

Ether

Esta criptomoneda (ETH) fue desarrollada en 2014 por Vitalik Buterin, a partir de una tecnología generada por el protocolo Ethereum, que permite registrar todas

las transacciones con cualquier activo basándose en una base de datos distribuida de forma descentralizada, como cadena de bloques, compitiendo directamente con el sistema actual de registro de transacciones.

Es de las criptomonedas más populares y la segunda por capitalización de mercado en el sector de las criptomonedas. Está considerada la “madre” del mundo crypto debido a que permite la creación de contratos inteligentes (*Smart contracts*). Utiliza la tecnología blockchain, pero el Ethereum supone un avance en dicha tecnología. En este sentido, no se limita a las transferencias de valor, sino que además posibilita editar y almacenar código y, por consiguiente, permite desarrollar los *smart contracts* (Cañar Uyaguari & Jara Jara, 2022).

Ether es una de las criptomonedas más atractivas que existen, puesto que por medio de su plataforma, que está basada en la cadena de bloques, puede prestar servicios en línea descentralizados, trabajando como medio para compartir recursos o para el registro de transacciones de activos mediante contratos inteligentes.

Se pueden emitir “Tokens” o “fichas” de la moneda por medio de la red blockchain. La moneda debe ser minada para asegurar la red y su mantenimiento mediante nodos. El Ethereum no tiene programado una limitación completa agregada al número de la oferta de criptomonedas (al contrario que el Bitcoin), por lo que algunos la podrían calificar como una divisa inflacionaria (perdería valor con el tiempo si la demanda es estable), no obstante, existe una limitación en cuanto a su emisión sobre 18 millones de Ether anualmente (Wood, 2017).

Ethereum Classic

Nace de la división de Ether. Son muy similares, ya que hasta el bloque 1.920.000, que es cuando se produce ocurrió el *fork* (bifurcación), comparten el mismo registro de la cadena de bloques. La bifurcación se originó para retornar los tokens que se robaron tras el hackeo de la Organización Autónoma Descentralizada o DAO (comunidad para crear un fondo de inversión virtual a través de la venta de

criptomonedas) en julio de 2016, cuando un usuario anónimo robó 50 millones de dólares en Ethereum (Castaño, 2022). Después de este *hardfork*, se dividieron los ether en 2 y su funcionamiento es independiente. El Ethereum Classic (ETC) es una continuación de la cadena de bloques original de Ethereum (Castillo Mur, 2020).

Una DAO es una forma de organización que está organizada bajo la era digital y sin una gestión basada en la jerarquía. Su principal objetivo es prescindir de los intermediarios en las transacciones. Las normas de organización de una DAO están codificadas con un contrato inteligente, el cual es un software autónomo en internet pero que necesita la acción humana para ciertas funciones. Una DAO es una organización que tiene una estructura financiera y un sistema de gobierno con asignación de votos.

El Ethereum Classic ofrece la creación y despliegue de contratos inteligentes y creación de aplicaciones descentralizadas. La premisa principal es mantener la ciberseguridad y ser una moneda eficiente para el desarrollo de los denominados contratos inteligentes. El objetivo de la plataforma de cadena de bloques es que el software posibilite bases de datos y transacciones y su almacenamiento.

Ripple

La criptomoneda Ripple (XRP), con base en San Francisco, tiene diferencias notables en relación a otras criptomonedas. No es una moneda descentralizada y está bajo la gestión y supervisión de una empresa (Ripple Labs). No obstante, utiliza la misma tecnología que Bitcoin y fue concebida como alternativa a las entidades financieras tradicionales para transacciones financieras internacionales (se pueden realizar liquidaciones y transferencias instantáneas) (Fumero Perdomo, González Mesa, & Castro Robayna, 2018).

Por tanto, esta criptomoneda tiene numerosas ventajas en cuanto a la reducción del tiempo de las operaciones, reducidos costes de transacción y mayor flexibilidad frente a otras criptomonedas para los pagos internacionales. A diferencia

de otros criptoactivos, Ripple es capaz de procesar una media de 1.000 operaciones por segundo (Galeano, Mareting Encommerce, 2018), por lo que la hace muy ventajosa para los bancos; muestra de ello es que el Banco Santander inyectó en la empresa emisora de la criptomoneda 4 millones de dólares en 2015 tras haber cerrado una ronda de 28 millones de dólares de otros fondos de capital riesgo (Galeano, 2018).

En el verano de 2015 el Banco Santander publicó el documento The Fintech 2.0, donde comentaba sobre las enormes ventajas competitivas de las tecnologías Blockchain y cómo dicha tecnología podía reducir la estructura de costes del sector bancario entre 15 y 20.000 millones de dólares para el año 2020. El Banco Santander anunció en marzo de 2018 el lanzamiento de una aplicación para realizar transferencias internacionales en menos de 24 horas a través de Ripple. (Armknrecht, Karame, & Mandal, 2015).

Cardano

Nace en 2015 como una red Blockchain con un fin más amplio con relación a la mayoría del resto de las criptomonedas. Tenía el propósito de generar un ecosistema sostenible y equilibrado, un Blockchain descentralizado y con código abierto. Cardano, de hecho, es más que una criptomoneda. Es una plataforma y el acrónimo de la criptodivisa Cardano es ADA. Cardano pretende suplir las carencias de los *smart contracts*, bitcoin, y ethereum; por lo que posibilitará aplicaciones descentralizadas (las denominadas dApps). Ha sido calificada como la Blockchain científica.

Existen 3 organizaciones que están contribuyendo al desarrollo del proyecto Cardano. Una de ellas es la fundación Cardano, localizada en Suiza y su competencia es la promoción y supervisión del desarrollo del proyecto Cardano. La fundación es una organización independiente, pero trabaja junto a la sociedad IOHK (Input Output HK), empresa contratada para el diseño y la construcción de la plataforma y Emurgo, la empresa dedicada a la explotación de Cardano buscando

alianzas comerciales y estratégicas para su explotación (Benazco Ángel & García Machiñena Morell, 2021).

Lo que subyace como principios fundamentales del proyecto es la búsqueda de una tecnología segura, flexible y escalable para poder dar soporte a millones de usuarios a nivel mundial. Eso es lo que se busca con esta criptomoneda de tercera generación (la primera fue Bitcoin y la segunda Ethereum).

Cardano trabaja con un algoritmo diferente al Bitcoin, que depende de los mineros. Ese algoritmo, llamado Ourboros, es mucho más riguroso, garantizando la máxima seguridad y permitiendo mejorar la funcionalidad por parte de los desarrolladores.

Litecoin

Litecoin (LTC) fue una de las primeras alternativas al Bitcoin. Su creador fue un antiguo empleado de Google llamado Charlie Lee, el 7 de octubre de 2011.

Es una moneda para realizar pagos a muy bajo coste en cualquier lugar del mundo. Comenzando como un “fork” (bifurcación) del Bitcoin, se convirtió en 2011 en una moneda independiente (López Domínguez & Medina Melón, 2020).

Con el objeto de facilitar su utilidad como divisa y reserva de valor, los diseñadores del criptoactivo limitaron la oferta a 84 millones, 4 veces superior al Bitcoin. Litecoin tiene ventajas competitivas frente a su “hermana” Bitcoin, la principal es la velocidad de transacción, la cual se ha visto mermada para el Bitcoin por la concentración de las transacciones. El Litecoin puede procesar un bloque cada 2,5 minutos (cuatro veces más rápido que el Bitcoin, cada 10 minutos). A nivel técnico existe alguna diferenciación en cuanto al algoritmo utilizado por cada una. El Litecoin utiliza un algoritmo scrypt y el bitcoin un algoritmo SHA-256, aunque en este respecto son muy similares con la referida ventaja en la velocidad en la ejecución de transacciones. Ambas comparten la arquitectura de minería para premiar la confirmación de los bloques (25 Litecoin/bloque).

Stellar

Stellar (XLM), como criptomoneda, basa su plataforma tecnológica en la cadena de bloques (blockchain) y fue concebida como alternativa a la banca tradicional. Nació tomando como referencia el Ripple la cual también está enfocada en la banca internacional como producto sustitutivo (Stellar es un “fork” de esta última), aunque con los años divergió de éste. Creada en 2014 por Jed McCaled y Joy Kim. Los Lumens son la criptomoneda de la red Stellar (Lizano Vargas & Barrantes Espinoza, 2019).

El proyecto Stellar tiene como objetivo primordial convertirse en proveedor financiero de países emergentes. De esta manera podría solventar las dificultades de los agentes económicos de países en vías de desarrollo para acceder a determinados servicios financieros (transferencias o transacciones internacionales, por ejemplo).

El proyecto está encabezado por una empresa sin ánimo de lucro (una entidad con forma jurídica de fundación denominada “*Stellar Development*”). La red Stellar no repercute comisiones en los usuarios para su sostenimiento. (Farell, 2015).

Monero

Esta criptomoneda de código abierto (símbolo XMR) nació en abril de 2014, inicialmente como una bifurcación de Bytecoin y fue creada por 7 desarrolladores de los cuales sólo 2 han revelado su identidad: Ricardo Spagni y Francisco Cabañas. El objetivo inicial era aportar una divisa digital centrada en la privacidad, descentralizada y que no se encontrase basada en el código de bitcoin. Por ello, Monero ha sido objeto de polémica y críticas en la prensa debido a su utilidad para servir como intermediación en el cibercrimen, por lo que la divisa tiene muchos detractores, la razón es simple. Esta criptodivisa se caracteriza por la posibilidad que ofrece de realizar pagos imposibles de rastrear y transacciones sin enlaces

entre unas y otras. Se la conoce como la criptomoneda anónima. Esta posibilidad de seguridad, privacidad y anonimato es una triada que reducidas criptodivisas pueden ofrecer al mercado (Sun & Au, 2017).

Monero tiene, por tanto, el objetivo de ser una criptomoneda de alta seguridad, usando el protocolo CryptoNote, que es diferente al que usa Bitcoin. Este sistema criptográfico fue descrito en 2012 por Nicolás Van Saberhagen, donde las transacciones se manejan por Blockchain pero no muestran el emisor ni el receptor. Cada activo de Monero, puede ser intercambiada por otra con iguales propiedades. Esta capacidad le facilita a su vez la característica de no trazabilidad, lo que permite que no pueda ser rastreada o relacionada en las transacciones donde haya intervenido. Por ello, no hay forma de que una persona pueda saber si la moneda en cuestión fue usada en alguna transacción con otra persona. No hay un registro que permita tal acción y eso mejora el nivel de privacidad y anonimato del sistema.

Tron

Es una criptomoneda china surgida en septiembre de 2017 y su fundador fue Justin Sun. Trabaja con la misma tecnología de Blockchain, está enfocada en revolucionar los juegos digitales y es una plataforma con sede en Singapur. Tron fue diseñada para crear un sistema de entretenimiento de contenido gratuito y está facultado para facilitar el pago, el almacenamiento, el desarrollo y el intercambio de crédito para los diferentes usuarios de la plataforma de ocio (videojuegos, juegos de azar, entre otros). Permite el intercambio en vivo de ocio entre diferentes continentes (López-Herrera, Macías Trejo, & de la Torre Torre, 2020).

A pesar de su corta trayectoria tiene una capitalización elevada. Su fundador es un joven emprendedor muy conocido en China. La razón de su fama se debe a que fundó Peiwo (la aplicación streaming de voz más grande de China, es el equivalente en China al Snapchat) y es un colaborador de Jack Ma, fundador de Alibaba.

El proyecto es muy ambicioso. Ha emitido dos ICO's y fueron muy satisfactorias en cuanto a su demanda. La criptomoneda del sistema se denomina TRONIX y existe un contrato inteligente en TRON que permite a los usuarios el acceso a las funciones de la criptografía (Gohwong, 2018).

Tether

Esta moneda, nacida en 2015, es una novedad de las criptomonedas ya que siempre valdrá 1 dólar, fue creada para ser respaldada por una moneda fiduciaria y mantener un mayor grado de estabilidad. Diseñada para evitar la volatilidad excesiva que otras criptomonedas tienen en el mercado, busca dar a sus clientes en su mayoría personas que envían remesas o cobran honorarios, estabilidad. Es decir, fue concebida para paliar inconvenientes que se suelen achacar a las criptos, como la volatilidad principalmente y representar a las divisas tradicionales en el universo Blockchain (Indah Setiawati, 2020).

En la actualidad, la plataforma Tether dispone de 2 token: USDT y EURT. Tiene sede en Tonga, Hong Kong y Santa Mónica.

Busca estar en un equilibrio y tener los beneficios de ambos mundos, la tecnología Blockchain por un lado y el mercado de las monedas tradicionales por el otro.

Tether se puede comprar, vender y usarla como medio de pago en las diferentes plataformas comerciales. Puede ser usada para depositar o retirar dinero en cuentas de los Estados Unidos sin que un banco sea el intermediario (Wei, 2018).

Además, cada Tether está respaldado por el equivalente en moneda tradicional en las reservas de la compañía, las cuales se publican diariamente y están expuesta a auditorias frecuentes por parte de profesionales. El Tether tiene fuerte trascendencia en el universo de las criptomonedas, debido a su estabilidad, su carácter de crypto refugio y sus bajas comisiones.

Diferencias entre criptomonedas y divisas oficiales

Las divisas oficiales se refieren al dinero tradicional, físico, de uso diario por la mayoría de las personas, conocido también como moneda fiat. El dinero fiat (cuyo término “fiat” proviene del latín y significa “que así sea”) se refiere a que su valor deriva de una imposición legal de un gobierno y no de un respaldo, de un commodity. El actual sistema monetario se basa en la confianza de los agentes económicos en el sistema, es fiduciario. El dinero fiat se impuso definitivamente desde que en 1971 se abandonó completamente el sistema del patrón oro por Estados Unidos, cuando el presidente Nixon declaró el 15 de agosto de 1971 la inconvertibilidad del dólar en oro.

Por su lado, las criptomonedas, como se ha comentado, no están respaldadas por un colateral material, simplemente el respaldo se encuentra en el mismo intercambio por medio de internet, en su interés por parte del público y su uso. Según el Banco de España (España B. d., Preguntas y respuestas frecuentes sobre política monetaria): “Las *criptomonedas*, también llamadas monedas digitales o virtuales, son instrumentos de pago sin soporte físico basadas en un algoritmo matemático, el *blockchain* o la cadena de bloques”. En la siguiente tabla observamos una valoración de las principales diferencias entre las monedas tradicionales y las criptomonedas dentro de los criptoactivos:

Cuadro 1

Moneda fiat vs. Criptomonedas: diferencias entre las mismas

MONEDAS FIAT	CRIPATOMONEDAS
Está controlado y emitido por los gobiernos y bancos centrales).	Descentralizadas por libro de contabilidad digital distribuido (blockchain).
Bancos pueden crear dinero fiduciario.	Generación controlada y limitada.
Puede haber restricciones para transacciones mundiales.	No hay contrapartida física, ni fronteras. Menos restrictivas para transacciones internacionales.
Más fácil efectuar un seguimiento.	Transacciones irreversibles y dificultad de efectuar un seguimiento.
Es el mayor mercado del mundo, 7,5 trillones diarios de USD (según el Banco de Pagos Internacionales).	Mercados pequeños, inmaduros y volátiles. No son universalmente aceptadas. ¿Bajará la volatilidad si crece el mercado?
No tiene valor intrínseco, valor fiduciario del emisor.	

Fuente: (Alonso & Perossa, 2021)

Criptografía. Proceso de creación y registro de las criptomonedas

El procedimiento criptográfico es el que permite procesar enormes cantidades de bloques de información. Es el integrante principal de la tecnología Blockchain y la integridad de los datos que discurren en la cadena de bloques. Esta tecnología permite que las transacciones de moneda digital sean anónimas, seguras y confiables sin necesidad de la intervención de agentes terceros, es decir, que no se necesite un banco u otro intermediario.

Whitfield Diffie y Martin Huellan son los padres de la seguridad en internet (Diffie & Hellman, 1976). Sentaron las bases de los sistemas de envío seguro que hoy se utilizan. Sin su investigación no existiría seguridad en los pagos online (que facilitan el comercio electrónico entre otros usos). Su objetivo era muy sencillo, lo que buscaban era la privacidad y la confidencialidad en Internet, y esto se lograba por medio de los medios criptográficos, buscando que tanto la persona que emite el mensaje, como la persona que recibe el mensaje, sean los únicos que conozcan el contenido del mensaje. Así es como el mundo de la criptografía nace aplicado a la era internet.

Diez años más tarde, ya eran un movimiento con repercusión a nivel mundial. Las personas que se interesaban, por lo general, eran personas con conocimientos avanzados en informática, pero también personas que analizando el problema de la centralización de la información en internet y el saber que toda su información de una u otra manera estaba siendo vigilada, no estaban tranquilos por la falta de seguridad.

Comenzaron a aportar herramientas para mejorar la utilización de internet, para volver anónimas las IPs (Internet Protocol), herramientas para encriptar emails y sus mensajes, expandiendo sus programas por medio de foros y sitios webs, el mundo entero llegó a tener acceso a todas estas herramientas de seguridad (Brogada, Sison, & Medina, 2019).

En 1990 David Chaum fue el primero en integrar la criptografía con el dinero electrónico. Luego Adam Black en 1997 desarrolla Hashcash, un sistema para limitar el spam y los ataques de denegación de servicios (DoS). Posteriormente, en el año 1998, el concepto de “criptomoneda” fue descrito por primera vez por Wei Dai en 1998, donde propuso la idea de crear un nuevo tipo de dinero descentralizado que usara la criptografía como medio de control. En 2009 Satoshi Nakamoto desarrolla Bitcoin, la primera criptomoneda que usa una cadena de bloques y es totalmente descentralizada, la cual usa un algoritmo llamado SHA-256 (LAM & LEE, 2015).

Objetivos de la criptografía

La criptografía persigue varios objetivos (Gil, 2002):

- **Autenticación:** Verificar la identidad del comunicador, asegurando que la persona que recibe la comunicación conoce el origen del mismo y pueda conocer el emisor.
- **Confidencialidad:** Tener la certeza de que el mensaje enviado pueda ser accesible única y exclusivamente para la persona autorizada.

- **Control de acceso:** Únicamente quien tenga la autorización puede acceder a los recursos.
- **Integridad:** Tener la certeza de que cuando se envía un mensaje, este no puede ser modificado por un tercero.
- **Vinculación:** Permite vincular un documento o transacción a una persona y, una vez que se envíe un mensaje, no podrá ser negado, ya que se estará aprobando totalmente la vinculación.

Tipos de criptografía

En cuanto a su clasificación, existen 3 tipos de criptografía (Mendoza, 2008):

- **Criptografía simétrica:** Se utiliza sólo una clave para cifrar y descifrar los mensajes. Obviamente, el que emite y el que recibe la información debe conocer la clave. La remitente cifra un mensaje con clave y el destinatario lo descifra con la misma clave.
- **Criptografía asimétrica:** Se basa en el uso de dos claves, una pública (compartida, que se puede comunicar a todas las personas que necesiten mandarte algo cifrado) y otra privada. El remitente usa la clave pública del destinatario para cifrar el mensaje y una vez que se encuentra cifrado, la clave privada del destinatario podrá descifrar la información debido a que es el único que la conoce.
- **Criptografía híbrida:** Es una combinación de las anteriores. Solventa los problemas que se dan con el uso de cifrado simétrico y el tiempo de procesado del uso de cifrado asimétrico. Básicamente la diferencia es que, al compartir una clave simétrica no es seguro, ésta es diferente para cada sesión.

Realizando una profundización en la relación entre los conceptos de criptografía y criptomonedas, la seguridad de las criptomonedas se basa en la criptografía para controlar las transacciones y la creación de nuevas criptomonedas. Gracias a la aplicación de la criptografía, las transacciones resultan infalsificables,

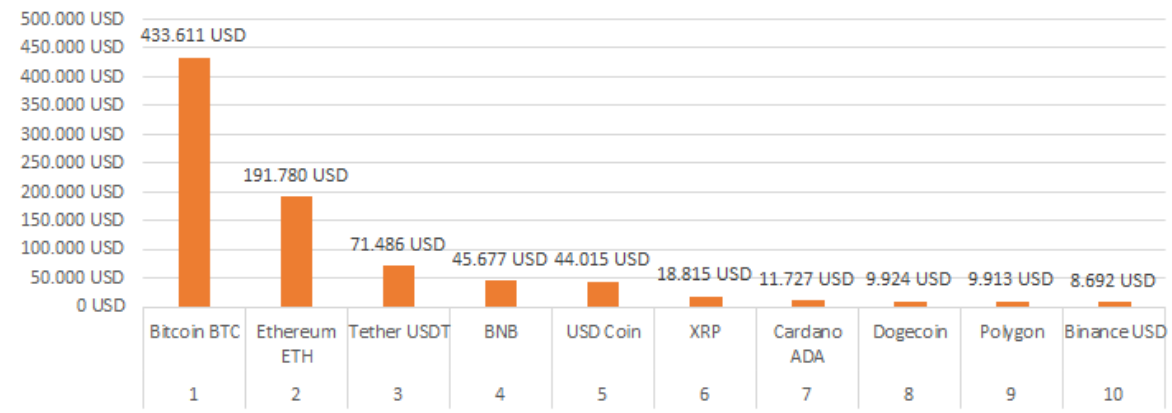
seguras y permiten ocultar información a terceros. Las criptomonedas son seguras gracias a la criptografía, ya que imposibilitan la adulteración de la información. La criptografía otorga a la criptomoneda de identificación, personalidad y firmas encriptadas, que vuelven ilegible la comunicación relevante.

El mercado de las criptomonedas: datos y magnitudes

Entre las 10 principales criptomonedas, la que mayor capitalización tiene es el Bitcoin, seguida por el Ethereum, Tether, BNB y USD Coin. Estas dos últimas presentan una capitalización similar, tal como se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 1

Clasificación criptomonedas por capitalización MM USD (12 de abril de 2023).



Elaboración propia a partir de marketcoincap.com, 2023.

Con objeto de ilustrar la evolución cuantitativa de la dimensión del fenómeno de las criptomonedas, presentamos una serie de estadísticas e ilustraciones gráficas con relación a su capitalización, precios y datos relativos a su grado de uso como medio de pago o activo financiero alternativo (uso de inversión o como fin especulativo).

Aunque posteriormente se abordarán estudios cuantitativos y econométricos, se presenta a continuación un gráfico diario sobre el Bitcoin/USD

(número de dólares de Estados Unidos por unidad de Bitcoin). La volatilidad observada en el gráfico es evidente y muy marcada.

Gráfico 2

Bitcoin/USD (número de dólares de Estados Unidos por unidad de Bitcoin) 2014 a 14 de mayo de 2023



Fuente: Reuters-Refinitiv

Por otro lado, con objeto de ilustrar la evolución, desarrollo de su dimensión y tamaño de este activo aún emergente, pero de rápido desarrollo, presentamos unos gráficos ilustrativos sobre evolución de la capitalización de las criptomonedas. Nótese como durante los años de la pandemia el crecimiento del mercado de criptomonedas, a pesar de su volatilidad siguió en aumento, recuperándose rápidamente de las caídas.

Gráfico 3

Capitalización de mercado de criptomonedas de 2014-30 de enero de 2023.



Fuente: (Coinmarketcap, 2023)

El gráfico 3 muestra la capitalización de mercado total de todos los criptoactivos, incluidas stablecoins y tokens. El valor de todas las criptomonedas existentes ronda los 804.000 millones de dólares (a 30 de enero de 2023), de los que unos 320.000 millones corresponden al Bitcoin.

El gráfico 4 muestra la evolución de la capitalización excluyendo al Bitcoin, la criptomoneda con la mayor capitalización de todas. A pesar de excluir al Bitcoin, se observa la misma tendencia que el gráfico 3, el cual incluye el Bitcoin.

Gráfico 4

Capitalización total del mercado de criptomonedas excluyendo Bitcoin de 2014-30 de enero de 2023



Fuente: (Coinmarketcap, 2023).

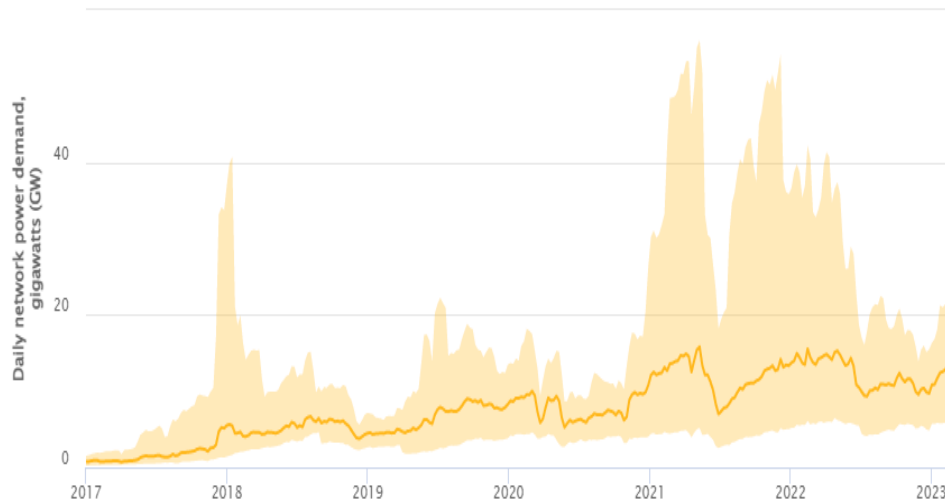
En suma, los gráficos muestran claramente la tendencia al incremento de la utilización de la valoración de las criptomonedas.

La tecnología blockchain también tiene un lado controvertido que se vincula con el impacto ambiental, especialmente por dos hechos insoslayables: el consumo energético y los desechos o residuos tecnológicos derivados de los equipos utilizados. La minería, que está basada en procesos de cálculo muy complejos, requiere la utilización de equipos tecnológicos que demandan mucha energía.

La Universidad de Cambridge ha publicado estimaciones de la demanda histórica de electricidad de la red Bitcoin.

Gráfico 5

Demanda histórica electricidad de la red Bitcoin (2017-febrero de 2023)

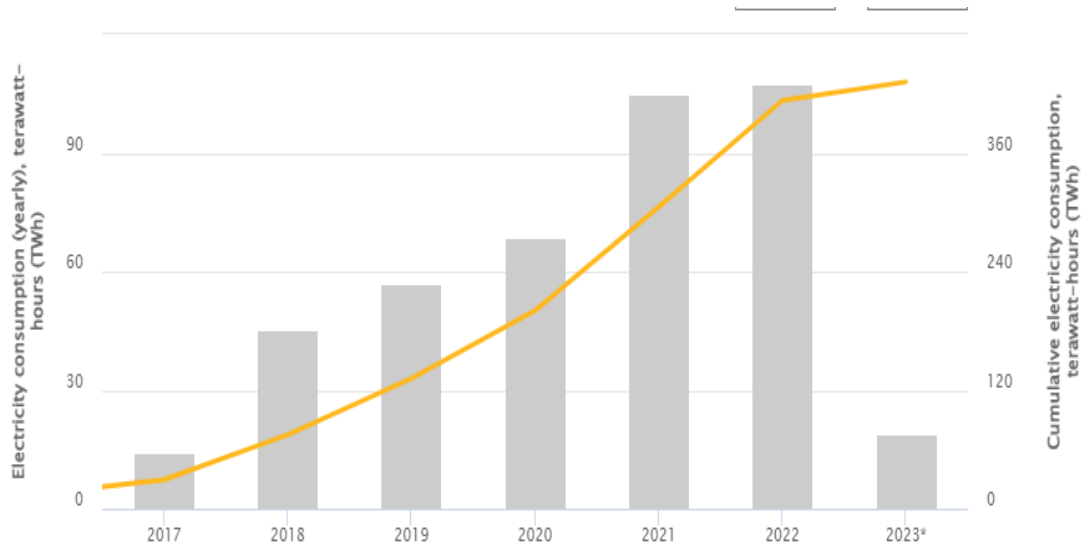


Fuente: (Business School Cambridge University, 2023)

Este gráfico da cuenta de una estimación de demanda de energía para febrero de 2023 de aproximadamente 13,80 giga watts (GW) y se señala el rango (mínimo-máximo) hipotético. La Universidad de Cambridge ha realizado un índice sobre el Consumo de Electricidad del Bitcoin (CBECI, *Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index*) con objeto de estudiar y profundizar en las externalidades negativas de la red. Son estimaciones, ya que la cuantificación exacta es imposible, realizan un rango hipotético con tres escenarios. El límite mínimo es el más “verde” y asume todos los mineros utilizan energía hidroeléctrica y el límite máximo es el menos “amigable con el planeta” y asume todos los mineros utilizan energía de carbón. La estimación final, entre ambos rangos, es la elaborada por la Universidad como más probable considerando el mix energético de cada país.

Gráfico 6

Total del consumo eléctrico del Bitcoin (2017-2023)



Fuente: (Business School Cambridge University, 2023)

Sin duda, en la actualidad el precio energético o en términos de la “huella de carbono” (emisiones de CO₂) para el mantenimiento de la industria de criptoactivos de la industria de los criptoactivos es de los aspectos más controvertidos y que la industria debe afrontar.

Dada esta problemática y dada la concientización ambiental, están en auge los criptoactivos ecológicos o verdes, como también se les denomina. Las criptomonedas verdes, son aquellas que buscan ser más eficientes en los procesos de minados con menos consumo energético. Entre las criptomonedas verdes se cuentan el Cardano, Stellar, Polkadot, SolarCoin y BitGreen (IG, 2023).

CAPITULO II

ESTUDIO DE LAS TENDENCIAS REGULATORIAS DE LAS CRIPTOMONEDAS EN LAS PRINCIPALES JURISDICCIONES

Introducción

Se hace necesaria la inclusión de un apartado jurídico, debido al efecto fundamental que tiene en su desarrollo y cotización debido al carácter inicial y emergente de su estado legislativo y regulatorio. Lo que se pretende con este apartado es un estudio científico analítico y descriptivo de las diferentes tendencias de afrontar la regulación de las criptomonedas en las principales economías: Estados Unidos, Unión Europea y Japón.

Ámbitos legislativos relevantes con relación a las criptomonedas

El presente apartado persigue situar la tesis en la coyuntura actual sobre las distintas maneras de afrontar el desafío a nivel jurídico que representan las criptomonedas en las principales jurisdicciones. Este resulta un aspecto de inmensa importancia y actualidad. El auge de las criptodivisas durante los últimos años ha llevado a las autoridades a estrechar el cerco de supervisión sobre este *asset class*. Con objeto de abordar la naturaleza jurídica de las criptomonedas, son posibles dos enfoques. Por un lado, equipararla a los objetos de regulación legal ya existentes (títulos de anotaciones en cuenta, moneda tradicional, bienes, etc., se puede definir como un enfoque *statu quo*), lo que implica la necesidad de crear y adaptar solo ciertas regulaciones para tener en cuenta las características específicas de la criptomoneda como variante del objeto correspondiente. Por otro lado, introducir desde cero el concepto de criptomoneda en la legislación actual, reconociéndola como un objeto fundamentalmente nuevo de regulación legal y,

como resultado, crear una legislación sobre criptomonedas desde el inicio (Samolysov, 2020).

Con intención de proteger al inversor minorista, en el momento de redacción de estas letras (febrero de 2021) la CNMV y el Banco de España han realizado una comunicación conjunta (CNMV, 2021). En ella, se alerta que durante los últimos meses numerosas criptomonedas “han experimentado elevada volatilidad en sus precios, lo cual ha sido acompañado de un aumento significativo de la publicidad, en ocasiones agresiva, para atraer inversores”. La pretensión es alertar del elevado riesgo que representa por acarrear una “extrema volatilidad, complejidad y falta de transparencia”. Lo califican como una “apuesta de alto riesgo”. En concreto puntualizan:

- “No existe aún en la Unión Europea un marco que regule los criptoactivos como el Bitcoin, y que proporcione garantías y protección similares a las aplicables a los productos financieros”. Recalcan que los criptoactivos “no cuentan con el respaldo de un banco central u otras autoridades y no están cubiertas por mecanismos de protección al cliente como el Fondo de Garantía de Depósitos o el Fondo de Garantía de Inversores”.
- Advierten que se está ante “instrumentos complejos, que pueden no ser adecuados para pequeños ahorradores, y cuyo precio conlleva un alto componente especulativo que puede suponer incluso la pérdida completa de la inversión”. Advierten asimismo que “los precios se forman en ausencia de mecanismos eficaces que impidan su manipulación como los existentes en los mercados regulados de valores”. Subrayan la falta de información y liquidez.
- Por último, puntualizan, los problemas añadidos derivados de su carácter transfronterizo. En muchas ocasiones, los actores implicados no se encuentran localizados en España (emisores, custodios) o incluso es

desconocida por lo que la resolución de conflictos puede ser de extrema dificultad.

Por ello, las autoridades legislativas y reguladores se encuentran en fase de abordar el desafío de protección a los inversores. Es de extrema importancia conocer el escenario y tendencias jurídicas y fiscales que afectarán a estos activos y su tecnología. El estado del arte a nivel académico sobre el marco legislativo es más incompleto que a nivel tecnológico o económico. La mayor parte los estudios publicados hasta ahora se han centrado en el derecho económico, derecho fiscal y regulaciones financieras. Al mismo tiempo, las instituciones legislativas y reguladoras se encuentran en fase de regulación de las criptomonedas en aspectos como el blanqueo de capitales y el lavado de dinero. El esclarecimiento y fortalecimiento de las bases para perseguir crímenes en este ámbito es de elevada importancia ya que tienen una fuerte tendencia al alza. Es importante resaltar que, la mayoría de los países del mundo han abordado la disrupción de las divisas digitales y están tratando de regular las relaciones de criptomonedas, enfocándose en la mayoría de las ocasiones en la concesión de licencias de transacciones de criptomonedas, su gravamen (Bal, 2014) , así como en contrarrestar su carácter anónimo derivado de la criptografía y su utilización por el cibercrimen y la financiación del terrorismo (Garcia-Ramos Lucero & Rejas Muslera, 2022).

Durante los últimos dos o tres años, la tecnología anteriormente asociada únicamente al Bitcoin y divisas virtuales se aplica en multitud de industrias (servicios financieros, energía, salud) y las tecnologías anteriores se ven amenazadas por el Blockchain. La irrupción tecnológica ha causado polémica cuando ha inundado terrenos tradicionalmente afectados por una regulación extensa y consolidada, como los mercados primarios de capitales o la transmisión monetaria (Arruñada, 2018).

Es importante recalcar que el enfoque jurídico no ha seguido una directriz homogénea en todas las economías o jurisdicciones (lo que influye en la

localización o domicilio legal de exchanges o compañías de servicios financieros o reubicación de éstas ante variaciones de Gobierno como decisión estratégica corporativa al igual que sucede en la regulación fiscal) y existe incertidumbre sobre el estatus legal de las criptomonedas (Naranjo Valencia, 2019). Por ello, el apartado jurídico se ha dividido en las tres grandes áreas económicas diferenciadas: Unión Europea, Estados Unidos y Japón. Se presenta una descripción analítica de los diferentes enfoques que han adoptado las entidades legislativas en estas principales economías para hacer frente a los desafíos que suponen las criptomonedas. Se han escogido estas jurisdicciones por representar un referente para los ordenamientos jurídicos que siguen la raíz del derecho romano continental, común y por parte de Japón por significar uno de los principales mercados de criptoactivos y ser el origen de la primera normativa del sector.

El escenario a nivel internacional no está clarificado, ya que mientras legisladores han optado por incentivar el desarrollo tecnológico, otros gobiernos han eliminado la tecnología de su jurisdicción. Lo que es consenso generalizado es la necesidad regulatoria (como lo señalaron los jefes de ejecutivo en la cumbre del G7 en diciembre 2020) ante los riesgos potenciales e incluso probable desequilibrio del sistema financiero como advirtió el Departamento del Tesoro de Estados Unidos.

En un estudio realizado por el Departamento Jurídico de la Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos en junio de 2018 (Goitom, 2018), se analizó el enfoque legal sobre las criptomonedas en 130 países. De este universo regulatorio, en 9 jurisdicciones tenían prohibición absoluta: Argelia, Bolivia, Egipto, Irak, Marruecos, Nepal, Paquistán, Emiratos Árabes Unidos y Vietnam. 15 jurisdicciones habían adoptado prohibición de una forma implícita: Bahrein, Bangladesh, China, Colombia, República Dominicana, Indonesia, Irán, Kuwait, Lesoto, Lituania, Macao, Oman, Qatar, Arabia Saudí y Taiwan. En lugar de implementación de prohibiciones, 17 países optaron por el establecimiento de aplicación de su regulación fiscal sobre las criptomonedas, principalmente países económicamente desarrollados

centrados en Europa. Adicionalmente, 40 naciones optaron por implementar normativa contra el blanqueo de capitales y financiación del terrorismo y 5 jurisdicciones implementaron normas de ambos tipos (Australia, Canadá, Dinamarca, Japón y Suiza). En ese instante, los 8 miembros de la Unión Monetaria del Caribe Oriental (ECCB) estaban comenzando a diseñar su complejo regulatorio. Por tanto, el fenómeno global sin fronteras que representa la tecnología ocasiona respuestas de los órganos legislativos a nivel mundial con enfoque diverso (García Peña, 2018). Las amenazas que estos activos suponen para la estabilidad del sistema financiero, su utilización como refugio para la opacidad en las transacciones financieras por parte de organizaciones criminales y la fiscalidad sobre estas inversiones hacen necesario su regulación, aún emergente o carente.

La importancia (en especial el aspecto del gravamen de estas operaciones para los retornos después de impuestos para la gestión de carteras) del aspecto jurídico hace inevitable su inclusión en la presente tesis, sin embargo, al mismo tiempo representa un hándicap sobre el riesgo de obsolescencia debido al carácter emergente y no consolidado de su legislación. Este aspecto, en el momento de la presente redacción, goza de una inmensa actividad. Tras la aprobación por parte del Consejo de Gobierno del BCE en julio de 2021 la iniciación de la fase de investigación del proyecto del euro digital (BCE, 2021), los gobiernos han adoptado medidas encaminadas a rellenar el vacío legal existente. En este sentido, el Parlamento y Consejo Europeo esbozaron un borrador con perspectivas de convertirse en Ley y sentar las bases de una legislación conjunta en la Unión Europea. Se trata del borrador del Reglamento Europeo sobre mercados de criptoactivos (MiCA, acrónimo de markets in crypto assets) (COM 2020 593) que supondrá una variación total en el panorama legislativo europeo por el que se modifica la Directiva (UE) 2019/1937 (Directiva (UE) 2019/1937 del Parlamento Europeo y del Consejo 2019).

El reglamento presente pretende abordar la regulación del mercado de las criptomonedas que actualmente están fuera del perímetro regulatorio financiero de la Unión Europea. Así, por ejemplo, los *security tokens* (tokens criptográficos pero ligados o vinculados a activos financieros) o los CBDC (central bank digital currency o criptoactivos emitidos por bancos centrales) no quedarían incluidos dentro del MiCA. Es decir, los criptoactivos regulados por MiCA son:

- Aquellos denominados *utility token* (permiso otorgado por el emisor para acceder digitalmente a una aplicación, es decir, el derecho subyacente es un uso específico).
- Token referencias a activos (sirve de medio de intercambio y su característica es que persigue una estabilidad al estar referenciada a otras divisas) y los E-money token (sirven como medio de intercambio y se caracterizan por estar denominados en unidades de una moneda fiduciaria).

El borrador de dicho reglamento nace con una vocación de cubrir una serie de ámbitos (Directiva (UE) 2019/1937 del Parlamento Europeo y del Consejo 2019):

- Definición de unos criterios de exigencia de transparencia para la emisión y admisión a cotizar los criptoactivos regulados.
- Definición de un sistema para la autorización y supervisión de los actores involucrados en la tecnología: los servicios de criptografía y los criptoactivos.
- Regulación del funcionamiento, supervisión y dirección de los emisores y los suministradores de diversos servicios relacionados con la criptografía.
- Definición de una normativa encaminada para la protección al inversor y consumidor final de los tokens (custodia, mercados primarios, etc...).
- Definición de un sistema encaminado a la prevención del abuso del mercado y en general garantizar unos estándares de integridad de estos mercados de capitales.

Los servicios relacionados con la criptografía se refieren, entre otros, la custodia y administración de criptoactivos a nombre de terceros, plataformas de intercambio, compraventa o en general mercados secundarios de criptoactivos, mercado de criptoactivos y monedas fiduciarias y/o otros criptoactivos, brokerage, colocación entre inversores, asesoramiento financiero y liquidación de estas operaciones (Pastor Sempere & Madrid Parra, 2021). Es decir, establece una ley del mercado específico para estos nuevos actores.

Dos aspectos relevantes que se deben añadir:

- MiCA sigue un criterio de proporcionalidad debido a que los nuevos requisitos no son homogéneos sino son más estrictos cuanto mayor es la amenaza para la estabilidad financiera, y
- La regulación permite limitar las amenazas y abre un abanico de posibilidades de negocio para los bancos y en general las entidades que prestan servicios de inversión.

En definitiva, la Comisión Europea pretende fomentar la innovación financiera, pero, al mismo tiempo, proteger al consumidor y al inversor. Ante el fenómeno de la revolución digital y la innovación financiera, este marco regulatorio tiene la ambición de generar la seguridad jurídica necesaria (Lara Ortiz, 2017).

Este borrador es consecuencia de la mentalización por parte de las autoridades de la carencia de regulación ante el rápido desarrollo del mundo digital y la amenaza que supone para las arcas públicas la evasión fiscal (existen estimaciones que existirán 200 millones de usuarios en 2024). Dicho vacío legal ha sido alertado por numerosas voces académicas (Sanz-Bas, Rosal, Alonso, & Fernández, 2021) y, aspecto muy relevante derivado del enfoque de la presente tesis para encuadrar las criptomonedas en el mapa de las inversiones, el tratamiento fiscal de las mismas para el cálculo de retornos después de impuestos. La fiscalidad es el nexo de unión entre las consideraciones económicas y jurídicas

de la tesis. Por ejemplo, un enfoque al tratamiento del aspecto fiscal corresponde (Krivtsov, 2019) donde este autor busca determinar el status (criptodivisa o activo financiero digital) y las especificaciones de la fiscalidad derivado de la localización geográfica del inversor. Describe tres modelos de abordar la fiscalidad: *income tax* (gravamen sobre la renta), *corporate tax* (impuesto sobre sociedades) o *capital gain tax* (impuesto sobre la plusvalía). El estudio aborda las discrepancias existentes entre los regímenes tributarios derivado de la problemática planteada resaltando la falta de madurez de su marco regulatorio. Las criptomonedas generalmente se consideran una forma de propiedad intangible o activo financiero en lugar de una moneda.

Numerosos estados también han publicado documentos aclaratorios sobre el tratamiento fiscal de las monedas virtuales y cómo se les aplica el marco legal nacional existente. Solamente un estado considera las criptomonedas como una moneda adicional de curso legal además de la regular fiat oficial (Buzzi, Cittadini, & Oliveira, 2018). En este sentido, la materia analizada se encuentra de actualidad derivado que El Salvador, desde el pasado 7 de septiembre de 2021, es la primera nación en adoptar el Bitcoin como moneda de curso legal.

En este aspecto, se puede resaltar una carencia general de coherencia en el enfoque en que se administran y regulan las monedas virtuales. Se intentó ligarlas con las monedas convencionales, pero las características tecnológicas que aportan un mayor anonimato y falta de intermediarios hicieron de la regulación y estandarización del manejo de este instrumento financiero un verdadero reto real para las autoridades en casi todos los países del mundo (Bolotaeva, AA, & Alekseeva, 2019).

¿Cuáles son en concreto los problemas planteados por el mundo académico que debe ser abordado por las autoridades? Diversos, en cuanto a la negociación, inversión, minería o cotización. Las Haciendas Públicas deben reaccionar con rapidez y aún no se ha firmado un tratado para resolver las divergencias entre

jurisdicciones. España, por ejemplo, considera a las criptomonedas como activos intangibles y el criterio que sigue la Agencia Tributaria es la declaración de las inversiones cuando se realiza la conversión a dinero FIAT y los beneficios están sujetos a IRPF como ganancias patrimoniales y se integran en la base imponible del ahorro. La Hacienda española intenta corregir la opacidad implícita de la tecnología Blockchain con la obligatoriedad de realizar una declaración informativa, aunque no se hayan realizado plusvalías, similar a la comunicación sobre bienes y derechos situados en el extranjero para evitar fuga de capitales o lavado de dinero (Ley 11/2021, de 9 de julio, de medidas de prevención y lucha contra el fraude fiscal, de transposición de la Directiva UE 2016/1164, del Consejo, de 12 de julio de 2016).

Además de lavado de dinero, las criptomonedas presentan más desafíos para otros ámbitos del derecho penal. Junto con sus potenciales usos, constituyen también una fuente de riesgos que pueden ocasionar una más difícil persecución de hechos punibles (Bedecarratz Scholz F. J., 2018) y este autor enfatiza el aumento del riesgo que suponen en actos delictivos complejos y recomienda una legislación preventiva acorde al *modus operandi* de esta nueva tecnología. El autor resalta y advierte que el modelo tradicional de deber de identificación es insuficiente para ser efectivo debido a la dispersión en diferentes jurisdicciones de los actores mercantiles y el modelo debe ser especializado proponiendo la creación de un registro de operaciones detectadas en operaciones ilegales y prohibir a ciertos actores la admisión de monedas virtuales aprovechando la arquitectura del Blockchain y así poder integrar las criptos en el tráfico jurídico legal.

La actividad legislativa en otras áreas geográficas se encuentra también en plena efervescencia. En Estados Unidos, por ejemplo, el Departamento del Tesoro de los Estados Unidos el 18 de diciembre de 2020 propuso un nuevo marco normativo extenso que haría menos atractivo para las actividades delictivas la convertibilidad de divisas digitales al exigir a las entidades financieras la comunicación de las partes intervinientes en dichas transacciones (Carrillo Cuellar,

2021). En concreto, las nuevas leyes, en caso de adoptarse finalmente, obligarían a los bancos y demás entidades financieras a la identificación y reporte de las partes involucradas en determinadas transacciones digitales. La normativa básicamente pretende la extensión de la obligación de identificación en estas transacciones de manera semejante a las transacciones en cash desde 1970. El legislador alerta (impulsado por el FinCEN – Financial Crimes Enforcement Network-órgano dependiente del Departamento del Tesoro de los Estados Unidos), por ejemplo, de la utilización en exclusiva de CVCs (convertible virtual currency, como el Bitcoin) para el pago de los chantajes de los ciberataques y poder liberar los programas de encriptación de los hackers. En Estados Unidos, las criptomonedas no son monedas de curso legal en ninguna jurisdicción (López Miranda, 2019).

El enfoque jurídico en los Estados Unidos tiene dos vertientes:

- Por un lado, el realizado por el Commodity Futures Trading Commission CFTC (agencia independiente del Gobierno creada en 1974 encargada de la regulación de los mercados de derivados) que ha abordado la regulación de las monedas virtuales como commodities.
- Por otro, el enfoque abordado por la SEC (Securities and Exchange Commission) que exige el registro de cualquier moneda virtual cotizada en los Estados Unidos si está calificada como security (activo financiero) y también de cualquier plataforma de negociación que cumpla con su definición de Exchange (mercado organizado de valores).

En cualquier caso, durante los últimos años las criptomonedas han estado en el foco de los reguladores norteamericanos, tanto a nivel federal como de los estados (Arboleña Rodríguez-Rovira, 2018). Por lo que respecta al gobierno federal, la iniciativa legal vino de las dos instituciones mencionadas y también de la Federal Trade Commission (FTC, agencia independiente del gobierno cuya misión es la promoción y protección de los derechos de los consumidores y la eliminación y prevención de prácticas que atenten contra la libre competencia), por parte del

Departamento del Tesoro a través del IRS (Internal Revenue Service, es la instancia federal encargada de recaudación y gestión fiscal y tributaria) y del FinCEN (acrónimo de Financial Crimes Enforcement Network que lucha contra el blanqueo de capitales y financiación del terrorismo).

La institución más activa es FinCEN. FinCen ha publicado varios fallos y dictámenes administrativos en casos de moneda virtual en Internet. En general, cualquier empresa que transfiera fondos de una persona a otra generalmente requiere una licencia de transferencia de dinero. Dado que las redes de criptomonedas permiten a los usuarios transferir fondos de una persona a otra, las empresas que facilitan estas transacciones requieren una licencia de transferencia de dinero (Sereda, 2020).

Algunos de los primeros casos judiciales involucraron a empresas o personas que no tenían una licencia de transferencia de dinero antes de facilitar las transacciones con criptomonedas. El 18 de marzo de 2013, FinCEN anunció que la Ley de Secreto Bancario (BSA) se aplica a los consumidores y empresas involucradas en el ecosistema de criptomonedas (Sereda, 2020). Esto significa que los diferentes actores de la industria de criptomonedas deben registrarse con FinCEN como una empresa de servicios monetarios (MSB, money services business) y que cualquier empresa que opere en el network o red de las divisas digitales debe cumplir con las normas AML y KYC.

De acuerdo con las reglas MSB de FinCEN, los diferentes operadores de los mercados secundarios de criptomonedas deben permitir que el gobierno federal acceda de manera transparente a los registros comerciales. Además, la empresa de criptomonedas es responsable de informar periódicamente a FinCEN, y FinCEN puede realizar auditorías selectivas de la empresa. Esta guía, proporcionada por FinCEN, establece explícitamente que los consumidores de criptomonedas no se consideran MSB y, por tanto, las reglas no se aplican específicamente a las personas (Bălășoiu, 2021).

En enero de 2014, FinCEN publicó una guía para aclaraciones adicionales a las pautas de moneda virtual de 2013. Según FinCEN, los mineros o verificadores de transacciones en una red de consenso de prueba de trabajo (PoW-Proof of Work) descentralizada (algoritmo de consenso original en Blockchain) en la mayoría de los casos no están obligados a registrarse como MSB (Hughes, 2017). La minería de criptomonedas es el conjunto de ejercicios necesarios para la validación y procesamiento de las transacciones del activo digital. En el caso del Bitcoin, en la cadena de bloques para lo cual los mineros obtienen Bitcoins como recompensa. Además, las empresas que desarrollan software que permiten a los usuarios comerciar con criptomonedas tampoco están obligadas a registrarse como MSB en FinCEN.

Finalmente, en 2016, FinCEN publicó una guía adicional sobre cómo se pueden utilizar las criptomonedas para promover el terrorismo y el cibercrimen. En mayo de 2016, la directora de FinCEN, Jennifer Shaski Culvery, declaró que la regulación de la moneda virtual de FinCEN está tratando de equilibrar los intereses de prevenir el terrorismo y apoyar la innovación en tecnología financiera (Hughes, 2017). También se explica en esa guía cómo se pueden utilizar las criptomonedas para promover el terrorismo y el cibercrimen. FinCEN dijo que para evitar que las monedas virtuales se conviertan en una herramienta para el crimen, las empresas y las agencias gubernamentales deben compartir información sobre actividades sospechosas asociadas con este nuevo sistema de pago.

Por otro lado, el IRS (IRS, Internal Revenue Service), establece que las plusvalías de las inversiones en moneda virtual están gravadas sobre las ganancias de capital (Braaten & Vaughn, Convenience Theory of Cryptocurrency Crime: A Content Analysis of U.S. Federal Court Decisions, 2019).

El 25 de marzo de 2014, el IRS emitió el documento de orientación IR-2014-36, que establece que una persona que “extrae” o mina moneda virtual como comercio o negocio se encontrará sujeta al impuesto sobre el trabajo por cuenta

propia (Konowicz, *The New Game: Cryptocurrency Challenges US Economic Sanctions*, 2018). Sin embargo, el gobierno declara que la moneda virtual no está clasificada como una moneda que pueda generar ganancias o pérdidas cambiarias para propósitos de impuestos federales de Estados Unidos.

En este documento, el IRS establece que las criptomonedas se clasificarán como propiedad a efectos fiscales federales. Esta guía establece que los principios fiscales generales aplicables a las transacciones inmobiliarias regulares también se aplican a las transacciones de moneda virtual (Braaten & Vaughn, *Convenience Theory of Cryptocurrency Crime: A Content Analysis of U.S. Federal Court Decisions*, 2019).

En consecuencia, las empresas que aceptan Bitcoins y otras criptomonedas para pagar bienes y servicios deben pagar impuestos sobre la renta sobre los pagos. Cuando se utilizan criptomonedas para pagos, se aplican las políticas del IRS con respecto a la provisión de información sobre transacciones inmobiliarias (Konowicz, *The New Game: Cryptocurrency Challenges US Economic Sanctions*, 2018).

Las empresas que pagan salarios a los empleados en Bitcoin están sujetas a impuestos a los empleados y el empleador debe incluirlas en un formulario W-2 (certificado de retenciones en Estados Unidos para las declaraciones federales y estatales).

Además, los impuestos sobre la nómina y los impuestos sobre la renta federales se aplican a los salarios pagados en criptomonedas. Los empleadores que contratan autónomos o contratistas independientes, así como los trabajadores autónomos, deben completar el Formulario 1099 para declarar sus ingresos en criptomonedas (Hughes, 2017).

Para la determinación de la base imponible por los ingresos de Bitcoins, el IRS establece que los contribuyentes deben cuantificar el valor justo de mercado

de los Bitcoins en el momento del pago (Braaten & Vaughn, Convenience Theory of Cryptocurrency Crime: A Content Analysis of U.S. Federal Court Decisions, 2019). Además de la orientación proporcionada por el IRS, el Departamento de Justicia también ayuda al IRS a monitorizar a los usuarios que no cumplen las obligaciones fiscales por las plusvalías generadas. Los detalles de los procedimientos del DOJ (Department of Justice) con respecto a esta posible evasión de impuestos se establecen en la sección DOJ del Capítulo II, Parte C.

A nivel estatal también existe iniciativa legislativa afectando a las divisas digitales y blockchain, y divergente entre los diferentes estados. Por un lado, existen estados que su legislación promueve e incentiva la tecnología mediante la aprobación de regulaciones favorables a los mismos eximiendo a las criptomonedas sobre las regulaciones generales de activos financieros y/o estatutos sobre transferencias monetarias (Barrero Saavedra, 2021). Con esta discriminación positiva jurídica estas jurisdicciones pretender aprovechar la inversión en tecnología para la estimulación económica local. Por ejemplo, Wyoming (ha aprobado la creación de un banco custodio y fiduciario para el depósito de criptomonedas, www.kraken.com) es considerado el estado más favorable a esta nueva tecnología.

Otros estados, como Colorado, Oklahoma (aprobándolo y considerándolo como un instrumento con valor monetario con la aprobación de las respectivas Money Transmitter Act to virtual currency users) y Ohio ha favorecido la tecnología dando cobertura institucional a la tecnología convirtiéndose en el primer estado en aceptar el pago de impuestos con Bitcoin. Por otro lado, existen regulaciones que han limitado o discriminado negativamente. Por ejemplo, Iowa (Senate Bill 303) aprobó una ley prohibiendo explícitamente en todas las subdivisiones administrativas la aceptación de transferencias con criptomonedas. Autoridades de diversa índole en, al menos otros 10 estados (como Maryland o Hawai) han realizado advertencias oficiales sobre los riesgos subyacentes sobre la inversión en criptomonedas. A pesar de la reciente implantación y necesidad regulatoria, no

existe un status quo y han existido modificaciones del sesgo. Otro ejemplo, Nueva York, que anteriormente emitió normativa de carácter restrictiva, ha suavizado las restricciones y limitaciones para la autorización de una licencia empresarial (la denominada BitLicense, que se refiere a la autorización otorgada por el Departamento de Servicios Financieros de Nueva York) para la realización de actividades con criptomonedas (Dewey, 2021).

Por tanto, el organismo y normativa aplicable en Estados Unidos depende de la consideración y tipología específica de la criptomoneda (Auer & Claessens, 2018). La SEC tiene autoridad regulatoria sobre el mercado primario o secundario sobre cualquier token o activo digital que se constituya como security (activo financiero), el cual según la legislación norteamericana es un contrato de inversión (investment contract, el cual es una inversión monetaria en una empresa con expectativa de beneficios según el esfuerzo de emprendimiento o gestión de terceros). Con relación a derivados (futuros, opciones y swaps) con criptomonedas como subyacente caen bajo regulación de la CFTC. La SEC ha dejado claro, como elemento de consideración como security, incluso si un token emitido en un ICO tiene la aplicación de “utility”, será security y regulado bajo el Securities Act si cumple los elementos del test de Howey. Por tanto, como podemos ver y autores reconocidos han descrito (Inozemtsev, 2020), existen peculiaridades en la asignación de competencias entre los reguladores financieros de los Estados Unidos. Además, este autor analiza los enfoques sobre la taxonomía de los criptoactivos.

Muy relevante es el tratamiento fiscal que recibe este activo o divisa. En marzo 2014 el IRS declaró que las “monedas virtuales” serían gravadas con la consideración de una “propiedad” y no divisa. Así, cualquier persona física o jurídica con criptodivisas tendrá que (Garcia-Ramos Lucero & Rejas Muslera, 2022):

- Guardar documentación sobre compras y ventas.
- Tributar por las plusvalías a la conversión a moneda fiat.

- Tributar por el valor de mercado de cualquier criptomoneda minada en la fecha de recepción.

La otra gran economía donde se ha focalizado el análisis jurídico del presente trabajo es Japón. La razón para ello es porque representa el mayor mercado para la criptomoneda más consolidada (Carrera-López, Sánchez-Lunavictoria, & Loza-Torres, El uso de las criptomonedas como nueva forma de pago en la economía mundial, 2021) y mayor capitalización (el Bitcoin). El crecimiento del mercado de criptoactivos en Japón es enorme animado por la subida de la cotización del Bitcoin y el incremento del entusiasmo por los ICOs. Además, Japón cuenta con una legislación pionera sobre las criptomonedas (Acta de Servicios de Pagos del 3 de junio de 2016). Según la Agencia Japonesa de Servicios Financieros (citado por Auer y Claessens, 2018), el 60% del volumen del bitcoin se intermedia en Japón. 2017 fue un año clave para la regulación y el crecimiento de las criptomonedas (o virtual currencies como son denominadas en la legislación nipona, la Virtual Currency Act aprobada el 1 de abril de 2017 como modificación de la Payment Services Act) y con la referida ley se introdujo una legislación para la aprobación de los intermediarios o exchanges de Bitcoins (ley aprobada por la Cámara de Concejales de Japón el 25 de mayo de 2016), siendo su principal objetivo evitar operaciones de lavado de dinero con estos instrumentos digitales. Dicha regulación para la supervisión de los intermediarios era necesario tras el colapso de Mt Gox (intermediario de bitcoin de Tokio que intermediaba hasta 2014 el 70% del volumen de bitcoin y pidió la situación concursal, suspendió operaciones y cerró su web tras el robo de 850.000 bitcoins o 450 millones de \$ de la época) en febrero de 2014. No ha sido un caso aislado, en enero de 2018 Coincheck, uno de los principales mercados de criptoactivos en Japón, anunció que había perdido aproximadamente 530 millones USD en criptomonedas tras un ataque de hackers a sus sistemas. Además, el 1 de abril de 2017 entró en vigor una enmienda a la Ley de Servicios de Pago de Japón que reconoce a las

criptomonedas (y al bitcoin) como un medio de pago legal en el país, pero no reciben el estatus de moneda de curso legal (Martinez Cruz & Meneses Alfonso, 2021). La definición de criptomoneda en Japón está descrita detenidamente en el estudio jurídico de la tesis, pero básicamente una criptomoneda susceptible de ser utilizada como método de pago y no estar denominada en divisa fiat cae bajo la definición de cryptoactivo. Este aspecto lo ha recalcado de forma explícita el Banco Central (BOJ) dictaminando que las monedas virtuales no son equiparables a las monedas fiduciarias ni son consideradas dinero. Además, el banco central de Japón no planea (hasta este momento) la emisión de su propia criptomoneda, pero recalcaron en un estudio que podrían verificar la posibilidad.

En Japón (al igual que en otras jurisdicciones) el objetivo primordial de las extensiones regulatorias para dar entrada a las criptomonedas tiene una ambición recaudatoria fiscal con objeto del gravamen sobre las ganancias patrimoniales (Martinez Cruz & Meneses Alfonso, 2021).

La regulación japonesa continuó progresando y avanzando y en 2019 publicó enmiendas para la mejora (preparadas por la FSA como proyecto de ley y aprobadas por la Cámara de Consejeros). Estas enmiendas fueron provocadas por las pérdidas de MtGox y Coincheck que mostraron la necesidad de revisión de diversas piezas del cuerpo regulatorio. Estas enmiendas entraron en vigor en mayo 2020 en el criptoespacio y se refieren a la segregación de proveedores de servicio entre custodios (regulados por la PSA Ley de Servicios de Pago) y brokers o intermediarios (bajo jurisdicción de la Ley de instrumentos e intercambio financieros FIEA). Japón, aunque configurándose como uno de los países más progresistas en cuanto a la integración de las criptomonedas en la actividad económica y financiera (fue el primer país en promulgar una ley que amparó legalmente las criptomonedas), siguió tomando medidas para la transparencia y endureciendo el marco normativo como la Ley de Servicios de Pagos (PSA) y la Ley de Instrumentos Financieros e Intercambios (FIEA) (Cóccaro & Rosso, 2021). Medidas de

obligatoriedad de divulgación de titulares al superar un umbral de derechos de voto (10%) y en general medidas encaminadas a detectar conflictos de interés, así como detección y suspensión de operaciones inapropiadas y activos criptográficos de alto riesgo. Se trataron de enmiendas generales que abarcan desde cambiar la terminología básica (“criptoactivo” en lugar de “moneda virtual”) hasta restringir las restricciones sobre los custodios cripto (Contreras Jiménez & Puerto Sierra, 2020). El 2 de julio de 2020 el Banco de Japón publicó un estudio (BoJ, 2020), donde sintetizan los factores técnicos de incluir en la masa monetaria las divisas digitales emitidas por bancos centrales.

Independientemente al estudio más detallado de la normativa a nivel nacional de los principales mercados, el efecto más importante de la tecnología a los mercados monetarios y de capitales es su globalización. La tecnología blockchain elimina cualquier restricción o limitación tecnológica, temporal o geográfica a los mercados de capitales y transacciones monetarias (Cassinello, Cervera Conte, Ibáñez Jiménez, & López del Villar, 2018).

Los riesgos, que existen, deben de tener una respuesta coordinada a nivel global. En este sentido, en la reciente duodécima edición (celebrada en diciembre 2020) del denominado G7 (siete principales poderes económicos avanzados), con representantes de bancos centrales de todo el mundo, debatieron sobre la importancia del establecimiento de un marco regulatorio claro en el sector de los criptoactivos. La reunión estuvo dirigida por el secretario del Tesoro de los Estados Unidos y contó con la presencia de los ministros de Economía y gobernadores de bancos centrales de los integrantes del G7, así como representantes del FMI, Banco Mundial, Comisión Europea, Eurogrupo y la Junta de Estabilidad Financiera. La importancia e impacto de esta tecnología y activo financiero o divisa es de tal magnitud que el tema central del debate fue la necesidad del establecimiento de un marco legislativo para el control y regulación de las criptomonedas ante el inmenso riesgo potencial que representan para el equilibrio del sistema financiero, como

recientemente declaró el Departamento del Tesoro de los Estados Unidos. Es innegable y constatable que el desarrollo tecnológico es más rápido que la actualización o adaptación regulatoria por lo que el riesgo viene derivado de la divergencia de velocidad. ¿Por qué? Son varias. En este sentido, un representante de una compañía de software (Kristina Kalcheva, managing director y abogada de la compañía de software de Blockchain Jelurida) declaró que, en su opinión, “el obstáculo deriva de la carencia de conocimiento y voluntad por parte de los reguladores de la naturaleza y extensión de la nueva tecnología y los ecosistemas digitales” (Observatorioblockchain, 2022). La percepción de los responsables políticos cambia, aunque lentamente, principalmente a raíz de la decisión o voluntad de emisión de sus monedas soberanas nacionales en versión digital, incluido en euro. En este sentido, es conveniente reiterar que el euro digital no es un criptoactivo. Será como el dinero en efectivo, pero en formato electrónico. Es relevante la aclaración por su relevancia sobre los agregados monetarios por lo que el euro digital será parte de la base monetaria. Las razones para la emisión del euro digital son, según la presidente del BCE Christine Lagarde (Consejo de Gobierno del BCE, 14 de Julio de 2021):

- Complementar (no eliminar el dinero en efectivo) al dinero efectivo para mantenimiento del uso puro del dinero y mejorar los mecanismos de transmisión monetaria debido a la posibilidad de abrir una cuenta directamente en el banco central por parte de los ciudadanos sin necesidad de intermediación de los bancos comerciales privados por lo que se reduciría el efecto de los multiplicadores monetarios.
- Mejorar la eficiencia de la política monetaria. El efectivo reduce la capacidad del BCE para imponer tipos de interés de penalización mayores a los costes de almacén del dinero en efectivo como ocurre en la coyuntura actual de tipos de interés negativos. Este hecho es considerado, por varios economistas, como una de las grandes ventajas del dinero digital (como ha

comentado el economista jefe del Commerzbank Jorg Kramer). De este modo, en caso de reducirse el efectivo en circulación, el BCE tendría más capacidad de impulsar la economía ante una amenaza de un escenario de recesión o deflación.

- Fortalecer la primacía del euro como núcleo del sistema de pagos. Como elemento subyacente en la implantación tecnológica existe una competencia internacional por la supremacía en el sistema de pagos. China avanza con fuerza en la implantación de su divisa en formato electrónico con objetivo, entre otros, desbancar al dólar como moneda reserva. El BCE, adelantándose a la FED, intenta ganar protagonismo en este sentido aprovechando la transición tecnológica.
- Mayor simplificación y privacidad en la utilización de los pagos digitales. El BCE vende la democratización de la tecnología por la facilidad de la tecnología propia (independiente del Blockchain) y además, al ser una entidad pública, mayor independencia en el potencial tratamiento comercial en la protección de datos del consumidor.

No obstante, la coyuntura actual aún mantiene incertidumbres sobre el futuro euro digital sobre el acceso y el depósito de éstos, suponiendo finalmente llegue a implantarse.

El desarrollo jurídico sobre los criptoactivos necesariamente colisionará y surgirán conflictos relacionados con derechos fundamentales sobre la propiedad privada de las criptomonedas y la libertad concerniente a los trades y los mercados secundarios (Celis Gutiérrez, 2022). Los derechos fundamentales (aquellos que protegen conductas específicas del individuo frente las interferencias del estado) y los conflictos que surjan con el desarrollo regulatorio (libertad de expresión, de asociación) apenas ha sido comentado por las autoridades focalizándose exclusivamente en impedir las actividades delictivas y el control de las mismas para poder gravar las transacciones (Rueckert, 2019). Lo que se ha constatado en el

ámbito académico es la necesidad de mayor conocimiento del avance tecnológico por parte de las autoridades y necesidad de investigación para hacer frente a los pseudo-anonimatos y los sistemas de divisas descentralizados.

La razón para la inclusión de un apartado jurídico en la tesis presente es, dado el actual estado incipiente del marco normativo, el efecto en la cotización del desarrollo del mismo. Un ejemplo de ello es el denominado “China Shock” (Autor, Dorn, & Hanson, 2016), que se refiere a los efectos en la cotización del RMB y demás mercados de divisas colaterales por las medidas adoptadas en China en septiembre 2017 para limitar operaciones con criptomonedas ante su temor que la depreciación del RMB, reducción de reservas y fugas de capitales fueran facilitadas por las operaciones con criptomonedas. Las autoridades chinas prohibieron los ICOs, prohibió a los exchanges locales la conversión a y con RMBs en criptomonedas y prohibió a los distintos proveedores de servicios financieros ofrecer servicios de banca de inversión y brokerage con criptomonedas. Estas medidas tuvieron inmensas y heterogéneas consecuencias colaterales como fue la apreciación del bitcoin (y obviamente incremento del volumen de trading) relativo a otras divisas (Won, Yen y USD) pero lo más destacable y emocionante en la actual coyuntura es la diferente reacción de las autoridades ante el miedo de perder el control sobre el sistema global de cambios. (Borri & Shakhnov, 2019).

El reto de la digestión de la irrupción tecnológica es de tal magnitud que supone uno de los mayores retos económicos y jurídicos que han existido, de carácter global y transversal a todos los niveles (liquidación o traspaso de los derechos de propiedad utilizando los criptoactivos, blanqueo de capitales, etc...). En este sentido, la literatura jurídica internacional aún no ha abordado los impactos de la tecnología DLT podría tener en los diferentes regímenes legales ya que se configura como una infraestructura gubernativa digital (Muñoz, 2020).

Por tanto, aunque la intermediación de las criptomonedas no exige personas jurídicas y carecen de fronteras, ha quedado constatado que el desarrollo

regulatorio afecta a su valoración y volumen por lo que los reguladores tienen margen de maniobra para lograr eficacia jurídica (Auer&Claessens, 2018). El carácter global del fenómeno exige una respuesta coordinada por el efecto de propagación en otras jurisdicciones. El ecosistema académico y científico está actualmente estudiando el estado de las relaciones económicas ante el desafío que supone la tokenización de la economía. El panorama actual se encuentra plagado de incógnitas y de desigualdades regulatorias y el estado del arte aún es muy inicial ante el mayor reto o desafío monetario más importante desde los acuerdos de Bretton Woods, donde se adoptaron las políticas económicas globales vigentes hasta los años 70 y se creó el Banco Mundial y el FMI.

Por tanto, la tecnología está transformando el modo de comprar, de relacionarnos y las transacciones económicas. La industria financiera se está viendo transformada totalmente y la desintermediación se está viendo potenciada con la tecnología de tal modo que provoca desaparición de bancos tradicionales (Delgado, 2018). El denominado Fintech es un fenómeno que ha ocasionado una transformación total del sector (apareciendo en escena los denominados Robo Advisors, plataformas de crowd tanto de deuda como equity, entre otros).

La coyuntura sobre los criptoactivos se encuentra, en el momento de redacción de estas líneas, en plena ebullición. La Comisión Europea ha establecido un cuerpo jurídico con una propuesta legislativa que define a los criptoactivos de una manera amplia, concretamente como “una representación digital de valor o derechos, que puede ser transferida o almacenada electrónicamente a través de tecnologías de registro distribuido u otras tecnologías similares” (Martí Miravalls, Criptoactivos y regulación: nueva normativa española y propuesta europea sobre Markets in Crypto-assets (MICA), 2021).

Hasta la iniciativa mencionada por parte de la Comisión Europea existieron diversos marcos regulatorios a nivel nacional. En 2018, Malta las reguló y la CNMV en España, como regulador, delimitó qué criptoactivos entraban dentro de su

perímetro de competencia. Al mismo tiempo, la EBA (autoridad bancaria europea, agencia de la UE con funciones regulatorias y domiciliada en París) y la ESMA (Autoridad Europea de Valores y Mercados, autoridad supervisora del sistema financiero de la UE en lo referente a securities o activos financieros) publicaron sus recomendaciones (García García, 2020).

No obstante, sin duda alguna, lo más relevante actualmente es el inicio del esclarecimiento del escenario gracias al armazón jurídico de la UE con su Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los mercados de criptoactivos y de esta forma se modifica la Directiva (UE) 2019/1937 (Villoria Mendieta, 2021).

El objetivo de la propuesta es cubrir la laguna jurídica de la normativa de servicios financieros o dinero electrónico. Por ello, quedarán fuera del ámbito de la propuesta los activos cubiertos en MiFID, los depósitos y el dinero electrónico (salvo si se habla de criptoactivos que también pudieran considerarse e-dinero). Por lo que refiere a los servicios, la propuesta regula los denominados wallets (custodia y administración por cuenta de terceros), mercados secundarios o exchanges, cambio de criptomonedas por divisas fiat tradicionales, brokerage de operaciones, mercado primario o emisión (ICOs) y el asesoramiento sobre inversión en los mismos. La prestación de estos servicios requerirá una licencia por parte del regulador nacional, pero con licencia a nivel de la UE. La oferta al público (ICOs) requiere, entre otros requisitos, la elaboración de un White Paper o libro blanco (documento de ayuda que actuará como folleto de emisión) (Nieto Martín & García-Moreno, Criptomonedas y derecho penal: más allá del blanqueo de capitales, 2021).

En definitiva, las criptomonedas y la tecnología en que están basadas son un elemento disruptivo con ventajas e inconvenientes para la sociedad, medibles en términos de inversión por su perfil ESG (Environmental, Social&Governance). En el lado positivo tienen capacidad de democratizar los mercados financieros al eliminar los intermediarios (reducción de costes de transferencia entre países ricos

y pobres y a nivel de emigrantes a sus países de origen, lo cual figura entre los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU) y el anonimato que ofrecen es útil para determinados agentes. No obstante, por el lado negativo existen informes alertando de la intensidad de consumo de energía del Bitcoin, por lo que la huella de carbono es elevada. Veremos, en definitiva, su capacidad de ganarse la confianza de los reguladores (Melguizo Moreno, 2019).

En la época de nacimiento de las criptomonedas (2008) explotó la denominada burbuja inmobiliaria y las denominadas hipotecas subprime, que causaron una crisis en el sistema financiero internacional sin precedentes, la cual aún no ha sido superada (Hernandez, 2018). El nacimiento en ese momento del Bitcoin y la tecnología Blockchain aparejada supuso una revolución con impresionantes repercusiones a nivel político, económico y social. En el segundo semestre de 2008 se dieron a conocer detalles sobre su naturaleza y funcionamiento, pero su lanzamiento oficial fue en enero 2009 con la publicación del programa informático de código abierto en el whitepaper traducido al castellano como “Bitcoin: un sistema de dinero en efectivo electrónico usuario a usuario” (Nakamoto, 2009).

El Blockchain es, sin duda, una de las tecnologías más importantes bajo desarrollo en la actualidad. Su área de actuación no se circunscribe ya únicamente al Bitcoin, sino que abarca sectores tan dispares como servicios financieros, farmacéuticas, energético, mercados de capitales y las tecnologías tradicionales en las que se basan se ven amenazadas por el Blockchain. La nueva tecnología ha supuesto un impacto y un fenómeno global. En varias economías y por razones divergentes (por ejemplo, en Venezuela por el escenario hiperinflacionario de su divisa oficial) las divisas virtuales están presentes en las operaciones corrientes de los agentes económicos. El carácter transversal de su aplicación provoca que aún los legisladores intenten entender la manera de abordar su legislación. Su carácter

virtual y descentralizado supone un reto regulatorio (Gómez Bermúdez & Montoya Pérez, 2018).

A pesar de su popularidad e implantación global y transversal, es una tecnología incipiente cuya existencia es de aproximadamente una década. La intrusión de la tecnología en áreas tradicionalmente fuertemente reguladas ha creado conflictos donde los reguladores han sufrido para la regulación del nuevo activo mediante enmiendas a las leyes anteriores. La tecnología es, sin duda alguna, disruptiva y el proceso legislativo es lento. Existen jurisdicciones que han optado por facilitar el desarrollo tecnológico mientras otras han optado por su prohibición. Es comprensible, de hecho, cuando se menciona criptomonedas aparecen en nuestro pensamiento actos criminales de fuerte impacto mediático (como el conocido Silk Road o Ruta de la Seda en la deepweb) (Martin, 2013).

La regulación de las criptomonedas supone un verdadero reto para la ciencia jurídica de cara a la comprobación de su flexibilidad para afrontar los cambios tecnológicos. Las criptomonedas operan bajo un network o red descentralizada donde no existe regulación por ningún organismo de control o entidad financiera. Al contrario que las divisas tradicionales, no existe una política monetaria que pueda influir en su cotización, ni una entidad única que controle la oferta ni se puede aplicar leyes de paridad de poder adquisitivo por inflación.

No obstante, el Bitcoin es sólo la primera aplicación de la nueva tecnología (tiene infinitas aplicaciones posibles desde servicios públicos, trading de valores, gestión e identificación de personas, seguridad) y sin duda alguna tiene potencial de modificar nuestras relaciones económicas, tal y como internet hizo hace 25 años. (Pacheco Jiménez, 2016).

A nivel legal, existen multitud de áreas grises. No existe una visión uniforme en las principales economías sobre las criptomonedas. Es decir, no existe un regulador global. Como regulador global podemos tomar como referencia el

Consejo de Estabilidad Financiera (Financial Stability Board), el cual es un organismo de carácter internacional que tiene como objeto la estabilidad y una mayor eficacia del sistema financiero global. Este organismo fue constituido tras la cumbre del G20 en Londres (que tuvo lugar en abril de 2009) como sucesor del Foro de Estabilidad Financiera. Con sede en Basilea, integra a todas las economías importantes del G20. Por otro lado, el FMI y su directora gerente realizaron declaraciones sobre la necesidad de establecimiento de políticas para la protección al consumidor al igual que en el sector financiero tradicional y consideran a las criptomonedas un riesgo debido a su utilidad para el lavado de dinero y financiación del terrorismo. No obstante, Lagarde (actualmente presidente del Banco Central Europeo) no consideraba las criptomonedas un riesgo o amenaza para el sistema financiero debido a su entonces reducida penetración. No obstante, la penetración de las mismas aumenta, la potencial inestabilidad también y por ende, la necesidad regulatoria.

Los desafíos regulatorios son elevados y varían de forma importante de un país a otro en enfoque y grado. Las medidas encaminadas a afrontar dichos desafíos varían desde la prohibición en diversas jurisdicciones a la implantación de fiscalidades desincentivadoras. De hecho, incluso en legislaciones favorables como en Suiza (la cual ha sido denominada “Cripto Nación”) las empresas se enfrentan a dificultades prácticas. Por ejemplo, la apertura de cuentas bancarias o la carencia de normas consolidadas sobre la contabilidad de las criptomonedas o la normativa sobre KYC o AML, una de las más estrictas del mundo.

Por ello, la regulación en las criptomonedas se vuelve cada vez más importante y necesaria. Su uso está en constante aumento, cada vez son más las personas interesadas en este tipo de activos y cada día son más las personas que están interesadas en invertir en estas criptomonedas. La regulación debe tener un enfoque transnacional debido a que los ICOs se ejecutan por internet de forma global y es común que su emisión y comercialización afecte a varias legislaciones.

Un aspecto interesante mencionar es la aportación valiosa que representa la regulación sandbox. El sandbox regulatorio es un área de experimentación con objeto de incentivar y fomentar la innovación en los servicios financieros dentro de un espacio con seguridad. El objeto es crear un entorno favorable para la creación y posterior desarrollo de las empresas denominadas “*Fintech*”. La regulación financiera, hoy en día, es ubicua. Coincide con oportunidades y desafíos ligados al tratamiento de datos, seguridad y ciberataques (Cruz, 2018). Como dice este autor “el sandbox tiene como objetivo promover una competencia más efectiva en interés de los consumidores al permitir que las empresas prueben productos, servicios y modelos comerciales innovadores en un entorno de mercado real, al tiempo que se aseguran de que existan salvaguardas y garantías adecuadas”. Los beneficios del sandbox son numerosos:

- Facilidad para la innovación tecnológica y creación de empleo. Este escenario posibilita y fomenta la creación de nuevas empresas intensivas en las nuevas tecnologías.
- Actualización legislativa. Este marco posibilitará la observación para la adaptación de los marcos legislativos deben adecuarse al Fintech para no obstaculizar la innovación.
- Control de riesgos. Representa una herramienta de gran utilidad para los reguladores y valorar los diferentes riesgos y oportunidades sobre el desarrollo del Fintech e Insurtech.
- Atracción de capital. El sandbox facilita la financiación de las empresas tecnológicas sirviendo como un escaparate internacional.
- Incentivo a la competencia. La consecuencia inmediata de una reducción de las barreras de entrada de carácter legislativo es un incremento del escenario competitivo y consiguiente mejora de los productos y servicios.
- Facilita la inclusión y democratización financiera. La competencia siempre mejora los productos y servicios y además ocasiona precios competitivos lo

que redundan en beneficio del cliente y permite la provisión de servicios a sectores poblacionales anteriormente excluidos.

- Retención de capital humano. La elección del domicilio social de las startups está muy influenciado por las facilidades de la base regulatoria y seguridad jurídica, lo que repercute en el capital humano del país y recaudación fiscal.

En España, destaca en 2020 un avance regulatorio considerable (España G. d., 2020). Como dice la exposición de motivos del referido proyecto de ley “la política financiera tiene que garantizar que la innovación aplicada al ámbito financiero es segura y beneficia al conjunto de la sociedad. Se trata de facilitar el acceso a financiación como motor de la economía, asegurando que la transformación digital no afecte en modo alguno al nivel de protección al consumidor de servicios financieros, a la estabilidad financiera y a la integridad en los mercados, ni permita la utilización del sistema financiero para el blanqueo de capitales y la financiación del terrorismo.” El objetivo es la creación de un Sandbox financiero. La aprobación del sandbox será el mayor paso que dará nuestro país para la innovación financiera y fue ratificada por el Senado en la votación efectuada el 4 de Noviembre de 2020 con la totalidad de los 262 votos a favor.

El proceso sigue su curso. En este sentido, y según resolución del 15 de diciembre de 2020, de la Secretaría General del Tesoro y Financiación Internacional, se convocó el acceso al espacio controlado de pruebas (Tesoro, 2020). Los promotores tenían plazo hasta el 23 de febrero de 2021 para acceder al espacio controlado de pruebas. En este sentido, por ejemplo, la empresa española de software Common MS se presentó a la convocatoria con objeto de facilitar la regulación del mercado de criptomoneda con Blockchain con un proyecto denominado “Normacripto” dirigido a entidades financieras, aseguradoras, Fintech y Securtech para el diseño de una plataforma tecnológica con software de

inteligencia artificial y con la operativa de gestión de Exchanges con tecnología Blockchain.

No obstante, a pesar del carácter positivo de estos avances, es importante mencionar que un sandbox no es más que un banco de pruebas y no prepara necesariamente a una empresa al mercado real. Para las empresas del sector del entorno cripto, la participación en un *sandbox* no las hace necesariamente más atractivas para los proveedores de capital como los fondos de private equity.

En España, el “cerco” sobre las criptomonedas se cierra. En este sentido, es relevante mencionar la aprobación de avances regulatorios que afectan al mercado interior (Ministros, 23 de Octubre de 2020), producto de la transposición de la Directiva (UE) 2016/1164, del Consejo, de 12 de julio de 2016, por la que se establecen normas contra las prácticas de elusión fiscal que inciden directamente en el funcionamiento del mercado interior, de modificación de diversas normas tributarias y en materia de regulación del juego. En este proyecto de ley, en virtud del mismo se incorpora de forma explícita la obligatoriedad de declarar las criptomonedas en el modelo 720 (declaración sobre bienes y derechos situados en el extranjero).

Como conclusión, es difícil prever cuando los criptoactivos serán una realidad jurídica, el proceso avanza y el sector actualmente opera dentro de la regulación existente. El sector necesita una regulación específica la cual se desarrolla con caminos divergentes entre jurisdicciones.

Regulación en los Estados Unidos

Estados Unidos es una referencia relevante (es el segundo mercado, tras Japón, con un 25% del volumen del bitcoin) y existe un nivel de regulación elevada en términos relativos al resto de jurisdicciones sobre las criptomonedas. El Gobierno de Estados Unidos las define como: "fondos convertibles descentralizados con la capacidad de ser utilizados legalmente como reserva de

valor, medio de cambio y unidad de cuenta" (definición dada por el Congreso de los Estados Unidos al extender y modificar la *Commodity Exchange Act*). No obstante, esta afirmación no significa que sea moneda de curso legal. En materia fiscal, son consideradas como activos financieros. Los brokers, plataformas o exchanges, están autorizados como *Money Transmitting Businesses* (MSBs, entidades de transferencia de dinero) en el código legal de los Estados Unidos.

Estados Unidos también ha avanzado en la materia regulatoria durante los últimos años. Su creciente uso ha provocado que el gobierno lo incluya entre los temas principales de su agenda. Aunque el interés reciente de las criptomonedas se ha focalizado en el Bitcoin, la primera acción judicial sobre las divisas virtuales tuvo lugar en 2007 cuando el Gobierno Federal multó a e-gold ltd y sus socios por violar las leyes estatales y federales con relación a los servicios de transmisión monetaria "money transmission" (Middlebrook & Hughes, 2014). E-Gold era, antes de ser obligado al cierre, un sistema de internet que permitía a los usuarios realizar pagos domésticos e internacionales no denominados en dólares, pero denominados en oro y otros metales preciosos. Debemos aclarar que, en el momento de redacción, el bitcoin no es moneda de curso legal en Estados Unidos (*legal tender*). Las dos entidades reguladoras más importantes de los Estados Unidos (Comisión de Bolsa y Valores SEC – Securities and Exchange Commission) y la Comisión de Comercio de Futuros de Materias Primas (CFTC – *Commodity Futures Trading Commission*), han discutido el hecho que a medida que las criptomonedas se vuelven más útiles y más utilizadas en las transacciones económicas, van adquiriendo un mayor nivel de prioridad y se vuelve necesario el supervisarlas, haciendo de vital importancia comenzar con su regulación cuanto antes. Además, la SEC se muestra optimista en cuanto a que el desarrollo de la tecnología blockchain puede ayudar a facilitar la formación de capital, proporcionando oportunidades de inversión prometedoras tanto para los inversores institucionales como para los de Main Street (afirmación realizada por el presidente

Jay Clayton el 11 de diciembre de 2017). En la actualidad existen aproximadamente 2.500 criptomonedas con un valor de aproximado de capitalización de 252 billones USD (según CoinMarketCap, 2022).

En el momento de escribir estas páginas (marzo 2021) existe un cambio gubernativo en Estados Unidos. Qué enfoque o camino tomará la administración Biden es el interrogante actual en el territorio en materia de criptoactivos. Existen argumentos que señalan que su investidura se focalizará en un enfoque positivo hacia las criptomonedas. El nuevo presidente de la SEC (Gary Gensler) es, de hecho, profesor sobre Blockchain y criptomonedas en el MIT (biografía oficial del presidente en la web de la SEC). En una clase abierta en 2018 dicho presidente expuso las siguientes respuestas a una serie de cuestiones:

- ¿Las criptomonedas son activos financieros (securities) o commodities? Este es uno de los principales debates entre los reguladores a nivel internacional. Este aspecto se presenta como un objetivo o concepto dinámico, los reguladores utilizan el método metafórico de utilización de la metodología inductiva del “test del pato”.
- Un tema interesante es la constatación que los reguladores toman una actitud diferenciada con relación a las start-ups y las incumbentes. Ello ocasiona desigualdades en las condiciones de competencia.

La SEC tomará un camino regulatorio estricto como demuestra la acusación realizada contra Ripple Labs (Commission S. U., 2020) por realizar emisiones de la criptomoneda XRP sin haber registrado el primario. Para decidir si XRP es un security, utilizó el test de Howey. El test de Howey es una metodología para la determinación si una prestación financiera determinada es un contrato de inversión. Es el resultado de la interpretación de la Securities Act de 1933 y la Securities Exchange Act de 1934. Es contrato de inversión si:

- Se produce una inversión económica,

- Hay una pretensión del inversor de obtener un rendimiento económico,
- La inversión se realiza en una empresa, y
- El rendimiento proviene del trabajo de un tercero distinto al inversor.

Esto es muy importante para la determinación sobre la entidad regulatoria (CNMV en España). La prueba del algodón reside en si las criptomonedas se compran para obtener un rendimiento de la actividad de un tercero o si dichos tokens darán derecho a obtener un bien o servicio, sin que ello sea para obtener una plusvalía. Es decir, se debe adquirir para recibir el bien o servicio, no para revender el token más adelante con fines especulativos (Fonseca, Ribeiro Santiago, & Amorín, 2019).

Las denominadas criptomonedas (término genérico para una larga clase de activos digitales que utilizan técnicas de encriptación para generar tokens, o unidades de divisa) deben ser individualmente analizadas para su clasificación. La SEC no tiene jurisdicción sobre transacciones en divisas o commodities. Por ello, la SEC ha tenido una actitud de cierta pasividad durante unos años ante la regulación, pero con las ICO's ha quedado patente su uso y emisión como securities (activos financieros) con nula protección institucional para el inversor minorista, por lo que la SEC se ha visto obligada a tomar parte activa en la regulación de estas al recaer dentro de los límites de su jurisdicción.

Existen dos aspectos a distinguir en lo que concierne a la regulación de las criptomonedas:

- Si las inversiones adquiridas con criptomonedas se consideran securities (activos financieros). En este caso, la jurisprudencia federal y estatal lo consideran securities, o

- Si las inversiones en criptomonedas se consideran securities. En este caso, es más complicado su categorización o clasificación. Para que una criptomoneda se

considere security, debe cumplir los 4 criterios establecidos por la Corte Suprema de Justicia de los Estados Unidos denominados el test de Howey (328 U.S. 293 (1946) definido en la Securities Act de 1933 y la Securities Exchange Act de 1934 para establecer si es un "contrato de inversión":

- Que sea una inversión monetaria.
- Que la expectativa sea de obtener una plusvalía.
- Que sea inversión en títulos de una compañía y
- Que los beneficios dependan de un tercero.

En este sentido, el expresidente de la SEC Jay Clayton (bajo la administración Trump) dejó claro que no ve el bitcoin (mayor criptomoneda por capitalización) como un security (como dijo en una entrevista con la CNBC publicada el 6 de junio de 2018). La mayor parte de las ICOs son securities y serán monitorizadas por la SEC. Por tanto, es muy posible la existencia de un cambio de sesgo por parte de la SEC con el cambio de la administración Trump a Biden. Como aspecto curioso de la importancia que está adquiriendo la materia, este recién expresidente se ha incorporado en su cambio laboral como asesor de One River Asset Management (gestora de inversiones en criptomonedas).

La actitud de la SEC ha sido variable desde la irrupción de las criptomonedas. Hasta el 2017 la SEC se había alejado de todo tema relacionado a los Bitcoins. No obstante, a finales de año se trataron temas importantes como los ETFs (Exchange Traded Funds) de Bitcoins, cuyo proceso de aprobación fue muy lento. Pero también se ha visto un ambiente con positiva disposición, ya que la SEC se siente capaz para asumir la regulación de criptomonedas y valores relacionados, como por ejemplo las ICOs o la oferta primaria de monedas. En 2017 se captaron 5.000 millones de \$ en ICOs pero el 10% de los fondos se pierde o es robado. La falta de regulación ha sido categorizada como el principal factor de riesgo (Rojas M. P., 2018).

Otro aspecto para resaltar es el expresidente mencionado de la SEC, quién recalcó en (Clayton, 2017) su preocupación sobre los agentes que buscan opciones de inversión especulativas mediante el apalancamiento financiero por medio de créditos o deudas en dólares, una divisa sobre la cual podemos afirmar que es relativamente estable, con el fin de invertir y comprar criptomonedas, las cuales han demostrado ser activos de alta volatilidad. Esta afirmación genera preocupación cuando este tipo de activos comienzan a perder valor y hacen que las personas asuman grandes minusvalías, por las que deberán responder además con intereses.

Para tener mayor claridad de cómo podría avanzar la regulación de este tipo de productos, debemos tener en cuenta que en Estados Unidos existen leyes estatales y federales, la diferencia está en la limitación territorial o ámbito geográfico objeto de aplicación.

El Gobierno Federal no ha ejercido su poder constitucional superior a los estados y legislar la tecnología Blockchain y excluir a los mismos (como además suele ejercer en temas regulatorios financieros) por lo que ha optado por permitir la libertad estatal en cuanto a la legislación.

No obstante, en general se aprecia que Estados Unidos mantiene una visión o perspectiva positiva y favorable sobre la utilización de las criptomonedas y la tecnología subyacente Blockchain. La mayor parte del diálogo en torno a la regulación de las criptomonedas ha sido a nivel de las agencias independientes del Gobierno Federal, incluyendo el Departamento del Tesoro, la SEC (Securities and Exchange Commission), la FTC (Federal Trade Commission), la IRS (Internal Revenue Service) y la FinCEN (Financial Crimes Enforcement Network). Las diferentes agencias tienen divergencias en su concepción sobre las criptomonedas y su visión sobre el enfoque regulatorio más adecuado. En concreto, la FinCEN (oficina dependiente del Departamento del Tesoro que supervisa operaciones financieras para perseguir lavado de dinero y financiación de actividades ilegales)

no considera a las criptomonedas monedas de curso legal, pero considera a las plataformas de negociación (exchanges) como mecanismos de transmisión monetaria y por tanto dentro de su competencia. Al mismo tiempo, la IRS (encargada de la recaudación tributaria y el cumplimiento de las obligaciones fiscales) considera a las criptomonedas como una propiedad (no como una divisa) y un sustituto de las divisas reales y ha emitido recomendaciones y guías sobre su tratamiento fiscal (IRS, 2021). En general, aplica la legislación general sobre transacciones patrimoniales. Aunque las agencias se han involucrado, en realidad la aportación jurídica por parte de estas ha sido escasa.

Las agencias y las autoridades legislativas han alabado la tecnología y han enfatizado la importancia de la tecnología en la infraestructura futura de los Estados Unidos y la importancia que Estados Unidos mantenga su papel de liderazgo en el desarrollo tecnológico. El equilibrio es complicado, y diversas agencias han advertido del riesgo de la sobre-regulación y el riesgo a los legisladores que aprueben legislación que fomente la inversión fuera de las fronteras de Estados Unidos.

El enfoque a nivel estatal ha sido divergente a nivel legislativo. Existen estados con legislación muy favorable, crypto-friendly hacia la nueva tecnología (eximiendo a las criptomonedas sobre leyes estatales sobre securities) con la esperanza de apalancarse en la inversión en Blockchain para impulsar la economía local y mejorar los servicios públicos (por ejemplo, Wyoming, Colorado y Ohio).

En Estados Unidos, se aprecia que la venta de la criptomoneda está regulada sólo si:

- Constituye la venta de un *security* bajo leyes federales o estatales.
- Se considere transmisión monetaria bajo la jurisdicción del Estado.

- Por otro lado, los derivados (futuros, opciones, swaps, entre otros) con un criptoactivo como activo subyacente que se constituya como un commodity están sujetos a regulación bajo la CFTC bajo la Commodity Exchange Act.

En ocasiones, se aplican las leyes de Securities. La SEC tiene autoridad regulatoria sobre los mercados primarios y secundarios cuando la criptomoneda tenga la consideración de un security (activo financiero). Bajo la legislación de Estados Unidos, un activo financiero es un “*investment contract*”, el cual fue definido por el Tribunal Supremo de los Estados Unidos como “una inversión monetaria en una compañía con la esperanza o expectativa de obtener beneficios derivado de la actividad emprendedora o de gestión de un tercero” (según la Securities Act de 1933 y la Securities Exchange Act de 1934). ¿Cómo se define si una criptomoneda es un investment contract? En este caso, la SEC y los juzgados suelen basarse en el fondo u objeto de la transacción, más que en la forma. La SEC ha sido muy clara al respecto que, si un token ha sido emitido en un ICO, aunque sea con carácter de “utility”, será considerada como un security (según informe emitido por el departamento regulatorio de mercados y securities el 2 de agosto de 2018) y será regulada bajo la Securities Act si cumple los criterios del Test de Howey.

Con independencia de las leyes Federales y la SEC, los estados tienen en ocasiones leyes reguladoras de los securities, las cuales se denominan “blue sky”.

En este caso, si el activo es considerado un security, el emisor debe registrarlo en la SEC u optar por las condiciones eximentes del requisito. Para las emisiones que han optado por la opción de no registro, la SEC impone menos restricciones para la venta de los activos a los inversores denominados “acreditados”. Un inversor individual tiene la consideración de acreditado (Commission S. S., 2020) si:

- Tiene un puesto ejecutivo en la empresa emisora de los activos.

- Tiene un patrimonio neto superior a 1 millón de dólares, excluyendo el valor de su residencia habitual.
- Tiene unos ingresos superiores a los 200.000 dólares en cada uno de los dos años anteriores y tiene una expectativa de alcanzar esa cifra de ingresos en el año en curso.
- Ha tenido una renta conjunta (con cónyuge) que excede los 300.000 dólares en cada uno de los dos últimos ejercicios y tiene expectativa razonable de obtención de la misma renta conjunta en el ejercicio en curso.

Otras dos implicaciones importantes cuando un token es considerado un security son:

- Requisito de existencia de un bróker-dealer con autorización de la SEC y miembro de FINRA (Financial Industry Regulatory Authority) para facilitar la venta de los securities o actuar como dealer/creador de mercado para los securities objeto de emisión.
- El activo sólo podrá cotizar en un mercado secundario organizado o ATS (alternative trading system) autorizada por la SEC.

Aspecto de suma importancia es la regulación de los denominados MSBs (*Money Services Businesses*) y leyes de prevención del blanqueo de capitales. Este término MSB es utilizado con frecuencia por los diferentes reguladores de los Estados Unidos para referirse a empresas que transmiten o convierten dinero. Fue acuñado como término más amplio respecto a los bancos que habitualmente realizan este servicio. Bajo la denominada BSA (Network, 1970), la FinCEN regula los MSBs. El 18 de Marzo de 2013 la FinCEN (Financial Crimes Enforcement Network) emitió las siguientes guías para la consideración de MSBs y su regulación estará dentro de la competencia de la FinCEN (FIN-2013-G001, Application of FinCEN's regulations to persons administering, exchanging or using virtual currencies, 18/Marzo/2013):

- *Virtual currency exchange*, es decir, sistema o bolsa de contratación de divisas virtuales.
- El administrador de un repositorio o custodio centralizado de divisas virtuales con competencia de emisión o amortización de las divisas virtuales.

Al estar bajo la competencia de la FinCEN, los MSBs deben cumplir la normativa de la prevención de blanqueo de capitales. Deben desarrollar, implementar y mantener un código escrito diseñado para la prevención de la utilización de la MSB para el blanqueo de capitales y lavado de dinero y financiación de actividades terroristas. En concreto, el código AML (anti-money laundering) deberá:

- Aprobar un protocolo interno escrito con unas políticas, procedimientos y controles internos para intentar asegurar el cumplimiento.
- Designar un responsable de compliance responsable del control del cumplimiento del código.
- Proveer cursos internos al personal con objeto de saber detectar posibles operaciones sospechosas.

Las ATS (*Alternative Trading System*) no están obligadas a registrarse como una Bolsa de Valores Nacional, si están obligadas a pasar por un proceso de investigación para poder recibir el certificado de excepción, según la Ley 3a1-1 (a) de la Ley de Intercambio. En esta categoría se encuentran empresas que pertenecen a JP Morgan, Credit Suisse, Nasdaq, Deutsche Bank entre otras.

Todos los ciudadanos de Estados Unidos tienen prohibido realizar operaciones financieras con personas (físicas y jurídicas) extranjeras que estén inscritos en la lista SDN (Specially Designated Nationals and Blocked Entities List) de la OFAC (Office of Foreign Assets Control) del departamento del Tesoro (lista SDN disponible en: www.sanctionssearch.ofac.treas.gov).

Sobre los aspectos regulatorios, el aspecto más incipiente es el aspecto de las criptomonedas como activo susceptible de formar parte de la planificación patrimonial en temas, por ejemplo, de sucesiones. Por ahora, los testamentos y vehículos como los trusts (muy habituales en el derecho común) no parecen vehículos adecuados para la transferencia efectiva de las criptomonedas.

La naturaleza anónima de la criptomoneda permite que las transacciones transfronterizas eludan las reglas de Know-Your-Customer (KYC) (conocer a tu cliente) y las medidas contra el Anti-Money Laundering (AML) (blanqueo de dinero) (Hugues, 2017). La capacidad de rastrear cada transacción sin poder determinar su remitente cambiará las interrelaciones ciudadano-Estado. La capacidad de encubrir la riqueza al gobierno puede representar un gran desafío para los modelos de regímenes políticos existentes y su capacidad fiscal recaudatoria. Estados Unidos es muy activo en la regulación de este nuevo activo. La Comisión de Comercio de Commodities (CFTC) participa activamente en la aplicación de las regulaciones en las operaciones de compra-venta de Bitcoins. En segundo lugar, a nivel federal, la Red de Ejecución de Delitos Financieros (FinCEN) es muy activa en la regulación de las monedas virtuales. FinCen ha publicado varios fallos y dictámenes administrativos en casos de moneda virtual en Internet. Además, el IRS regula aspectos fiscales de las mismas.

Regulación en la Unión Europea

Las criptomonedas comienzan a representar un actor de importancia en el panorama económico mundial. Presentan, además, una cierta tendencia creciente, a medida que los inversores institucionales empiezan a considerarlas como activos aptos para su asset allocation o asignación de activos (Dorati, Ruda, & González, 2020).

No obstante, quedan muchos aspectos por cubrir para que sean ampliamente aceptadas. La regulación es uno de los más relevantes y, una vez definido, jugará un papel determinante para su adopción.

El mercado criptográfico requiere de un escenario regulatorio para otorgar seguridad y confianza a los inversores y usuarios. Las autoridades europeas son conscientes de esa necesidad. Así, la iniciativa jurídica más relevante es la propuesta de la Comisión Europea de septiembre de 2020 conocida como MiCA (Markets in Crypto Assets). Dicha normativa fue aprobada provisionalmente por el Parlamento y el Consejo Europeo en junio de 2022 y aprobada finalmente por el pleno del Parlamento Europeo el 20 de abril de 2023. MiCA se engloba dentro del plan de la Unión Europea de crear un mercado digital unitario en la Unión con el objetivo de incentivar la innovación digital y financiera (Martí Miravalls, Criptoactivos y regulación nueva normativa española y propuesta europea sobre Markets in Crypto-assets (MICA), 2021). Con esta legislación se quiere eliminar un vacío legal que podía impedir la innovación y conducía al arbitraje legal (debilidad legal que le hace susceptible de ser evadida y beneficiarse de esta inconsistencia regulatoria), algo frecuente en el sector financiero. La propuesta define criptoactivo como una “representación digital de valor o derechos, que puede ser transferida o almacenada electrónicamente a través de tecnologías de registro distribuido u otras tecnologías similares”. La propuesta apoya un enfoque holístico de la tecnología blockchain y la DLT (distributed ledger technologies) y por tanto la pretensión es el establecimiento de una regulación de todo en su conjunto de lo que la regulación europea denomina “criptoactivos” (Navarro Cardoso, 2019). El texto busca garantizar que las transferencias de criptoactivos, igual que cualquier otra operación financiera, puedan ser siempre rastreadas y las transacciones sospechosas bloqueadas. La llamada «regla del viaje», ya utilizada en las finanzas tradicionales, cubrirá en el futuro las transferencias de criptoactivos. La información sobre el origen del activo y su beneficiario tendrá que «viajar» con la transacción y

almacenarse tanto en el origen como el destino de la transferencia (notas de prensa del Parlamento Europeo, 20 de abril de 2023).

Las autoridades europeas han modificado la definición de los criptoactivos a través del tiempo (Tejerina, 2020). Así, en 2012 el Banco Central Europeo definía a las criptomonedas como un “tipo de dinero digital” mientras que en 2015 las calificó como “representación digital de valor”. Un año más tarde en un informe distinto adoptó la denominación de “medios de pago alternativos” pero enfatizaba que “sería más exacto considerarlas como medio de cambio, no de pago”.

El expresidente del Banco Central Europeo, Mario Draghi, en diferentes ocasiones ha dejado claro que la regulación de las criptomonedas no es una obligación que le competa a la institución bancaria. No obstante, si ha planteado la posibilidad que los presidentes de los bancos centrales del mundo se puedan reunir para desarrollar algún tipo de acuerdo y unos puntos básicos regulatorios sobre las criptomonedas y la tecnología Blockchain. D. Mario Dragui ha dicho literalmente: "no es responsabilidad del BCE realizar ningún tipo de regulación sobre las criptomonedas", pero alabó la tecnología blockchain como respaldo a la economía y "creará muchos beneficios". Por tanto, según Dragui "no es competencia del BCE ni regular ni prohibir el bitcoin" (Rodríguez Fernández, La tributación y el control tributario de las criptomonedas en España, 2021).

El primer objetivo de la propuesta es la unificación de criterios. Por tanto, lo que se pretende es que el sector de los criptoactivos se regule de forma homogénea en todo el espacio de la unión. La norma es la Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los mercados de criptoactivos y por el que se modifica la Directiva (UE) 2019/1937 (Nieto Martín & García-Moreno, Criptomonedas y derecho penal: más allá del blanqueo de capitales, 2021). Se aprobó el 24 de septiembre de 2020, COM (2020) 593 final. Una vez definitivamente aprobada, será de obligado cumplimiento en toda la Unión Europea por encima de cualquier normativa nacional de los estados.

En segundo lugar, intenta fomentar los siguientes 4 objetivos (Quejido, 2019):

- Otorgar de seguridad jurídica a los mercados primarios de criptoactivos que queden fuera del perímetro regulatorio del mercado de valores o de dinero electrónico.
- Incentivar la innovación tecnológica.
- Ofrecer protección jurídica a los inversores minoristas.
- Evitar el riesgo sistémico asociado a la emisión de criptomonedas referenciadas a divisas de curso legal.

La propuesta MiCA será objeto de aplicación a todos los agentes que:

- Participen en los mercados primarios de criptoactivos.
- Aquellos agentes asociados a diferentes servicios en la UE.

Con relación al mercado primario de criptoactivos, pueden ser (Considerando 9 del Reglamento) (Mancini; Scuotegazza; Gurméndez; Sotelo; Begérez; Álvarez., 2021):

1. *“Tokens de utilidad o utility tokens”*. La propuesta formula un régimen para esta categoría. Los Utility Tokens son certificados digitales utilizados para la financiación de una plataforma digital. Los Token se intercambian por el servicio o el producto desarrollado por la empresa digital. Es decir, el objeto de los utility token es dar acceso digital a una aplicación en un registro distribuido (DLT) y tienen la particularidad que únicamente son aceptados por la entidad emisora de ese token (Pachecho Jiménez, 2019).
2. *“Tokens referenciados a activos o Stablecoins” (asset referenced tokens)*. La propuesta los define como aquellos cuyo objeto principal es su utilización como medio de cambio y pretenden la consecución de una estabilidad en el precio (como indicamos una de las principales

críticas hacia las criptomonedas es su volatilidad y su difícil utilidad como reserva de valor) al estar referenciadas al valor de una cesta de monedas fiat, commodities u otros criptoactivos.

Dicha propuesta introduce la consideración de los criptoactivos como medios de pago o medio de cambio (denominación utilizada en la Directiva sobre Blanqueo de Capitales). El borrador admite la utilización como tal de los criptoactivos, al menos en relación con los tokens referenciados (sobretudo cuando el activo de referencia es una moneda fiat).

3. “*Tokens de dinero electrónico (e-money token)*”. Su objetivo es su utilización como medio de cambio y pretende el mantenimiento de la estabilidad en su valor al estar denominado en unidades de una divisa fiat de curso legal. La definición es similar a la anterior, la diferencia es el concepto de “referenciado por denominación” y la limitación de la referencia a una divisa fiat específica. Por tanto, esta clasificación es un caso concreto del anterior.

Como se ha expuesto anteriormente, la propuesta establece un régimen general para los activos categorizados como utility y regímenes especiales con requisitos más exigentes para autorizar y supervisar las dos categorías siguientes (asset-referenced y e-money).

Desde un punto de vista conceptual y metodológico, las autoridades europeas determinan el tratamiento legal de los tokens mediante su clasificación en estas categorías, asociados a funciones específicas. Los tokens, en realidad, tienden a combinar mayor diversidad de funciones (tokens híbridos) (Ferrari, 2020).

En cuanto al ámbito subjetivo, la MiCA determina unas figuras subjetivas a las que regula y limita a lo largo de la normativa. Se puede diferenciar 3 de ellas (Pastor Sempere, Martínez Nadal, Blanco Sánchez, & Echebarría Sáenz, 2022) (Ruiz Garijo, 2021):

a. *Emisores (issuers) de criptoactivos*

La normativa define a los emisores de una forma laxa, simplemente califica como emisores aquellos que realizan oferta de los mismos a terceros. Estrictamente, califica como emisores a toda “persona jurídica que ofrece al público cualquier tipo de criptoactivos o busca la admisión de dichos criptoactivos en una plataforma de negociación”. La norma establece un mercado primario en términos amplios, pues incluye la creación pura como la inclusión de este en un exchange de negociación. Por otro lado, el art.4 establece la exclusión de las obligaciones de los emisores si “los criptoactivos se crean automáticamente a través de la minería como recompensa por el mantenimiento o la validación de transacciones, o tecnología similar”.

b. *Entidades que prestan servicios relacionados con los criptoactivos.*

El art. 3 de la propuesta define este concepto como la persona cuya función o actividad sea una prestación de servicios relacionado con el ámbito de los criptoactivos, *de forma profesional*.

Las actividades que la norma engloba como servicios relacionados con la industria de criptoactivos son los enunciados a continuación:

- Custodia y administración por cuenta de terceros. Engloba el control del acceso a la posesión de los activos.
- Administrar una bolsa o plataforma de negociación/trading, gestión del establecimiento de los precios de los activos mediante órdenes de compra y venta.
- Tipos de cambio entre criptoactivos y monedas tradicionales o fiat, utilizando capital propio.
- Asimismo, utilizando capital propio, establecimiento de tipos de cambio de criptoactivos por otros criptoactivos.
- Ejecución de órdenes de compra/venta de criptoactivos en nombre de terceros. Es decir, actividades de brokerage con criptoactivos.

- Actividades relacionadas con la adjudicación o colocación de criptoactivos. Es decir, venta o comercialización de criptoactivos de mercados primarios, colocación directa independientemente de las ICOs.
 - Realizar actividades relacionadas con el asesoramiento financiero personalizado sobre criptoactivos. Es decir, actividades reguladas para las EAFIs en España.
- c. Cualquier persona relacionada con el ámbito de la industria de los criptoactivos.

En este “cajón desastre” la norma pretende regular a cualquier persona que pueda utilizar información privilegiada y provocar abuso del mercado y manipular el mercado.

Esta normativa, sin duda, mejora el escenario regulatorio y cubre deficiencias en la aplicabilidad de la normativa de la UE reguladora de las actividades de inversión y servicios de pago, sobre todo focalizándonos en los criptoactivos que realizan funciones de instrumentos de inversión y como e-money.

La normativa MiCA derivado tras años de distintos enfoques regulatorios a nivel nacional. Por eso decíamos que el primer objetivo de la MiCA es la unificación de criterios y las autoridades europeas han emitido comunicados sobre la necesidad de supervisión. En diciembre de 2017 se aprobó por parte del Consejo Europeo la posibilidad de creación de una autoridad específica para vigilar el uso y buen funcionamiento de las criptomonedas. Las criptomonedas están incluidas en la normativa de blanqueo, por la directiva de prevención de la utilización del sistema financiero para el Blanqueo de capitales de la Unión Europea, conocida como Directiva UE 2015/849 de 20 de mayo de 2015 (Pérez López, 2017).

El fenómeno de las criptomonedas y la tecnología Blockchain ha supuesto una verdadera revolución a nivel jurídico y ha despertado muchos interrogantes,

desde comercial a protección del copyright. No obstante, la posibilidad de crear unidades de valor que circulen en una red digital es el aspecto que representa un mayor reto. La emergencia del Blockchain puede interpretarse como una respuesta neoliberal a la crisis del 2008 y la falta de confianza en las instituciones políticas y financieras. La regulación es muy importante lo que representa MiCA, en caso contrario la “privatización del dinero” que posibilita Blockchain puede resultar en una concentración de poder en unas pocas manos no identificadas (Zambrano Sánchez, y otros, Rodríguez Arredondo).

El escenario pre-MiCA a nivel nacional tuvo diversas vertientes. En 2013 Alemania (la GFFSA, German Federal Financial Supervisory Agency) igualó el valor del Bitcoin a la inversión en oro, hablando del Bitcoin como una unidad de valor y no como una divisa digital ni moneda de curso legal (legal tender). El ministro de Economía alemán dijo que el bitcoin es una "unidad de cuenta" al contrario que una divisa extranjera o e-divisa, pero la consideró "dinero privado" o un instrumento financiero. La necesidad de regulación el ministro alemán la enfocaba en 2013 hacia la necesidad de gravar las transacciones. También encontramos otro ejemplo como en Bélgica, donde el Banco Nacional Belga adoptó al Bitcoin como una moneda más de intercambio al no oponerse a su uso (Pastor Sempere, Martínez Nadal, Blanco Sánchez, & Echebarría Sáenz, 2022).

Regulación en España

A continuación, focalizándonos en el caso de España, en el parlamento, el Gobierno del Partido Popular comenzó a redactar en 2018 un proyecto de ley cuyo propósito central se concentró en empezar a atraer empresas que usen tecnologías basadas en cadena de bloques o que trabajen con las ICOs (Initial Coin Offering), es decir, utilizar la revolución tecnológica como un revulsivo económico. El documento pretendía estar listo para final de 2018, donde se incluirían posibles desgravaciones y beneficios fiscales, para empresas de Blockchain y empresas de tecnología e innovación. Con esta iniciativa, el gobierno español de ese momento

(con anterioridad a la moción de censura de junio 2018) empezó a nadar a contracorriente de Europa en cuanto a las criptomonedas (Ruiz Garijo, 2021). Hasta ese momento, las iniciativas legislativas en España en este sentido han sido diversas, como a continuación se expondrán.

Proposición no de Ley relativa a establecer un marco regulatorio para la inversión en criptomonedas e ICOs. Fue presentado el 7 de febrero de 2018 por el grupo parlamentario popular en el Congreso y proponía la siguiente Proposición no de Ley (Anglès Juanpere, 2019): El Congreso de los Diputados insta al Gobierno a que traslade en los ámbitos y foros internacionales pertinentes (especialmente en el G20) la necesidad de estudiar y valorar la adopción de una regulación supranacional que permita generar confianza y fiabilidad en nuestros mercados, advierta a los inversores y usuarios de criptomonedas de sus riesgos y regule las entidades que lo comercialicen. Se trata, por tanto, de aprovechar las ventajas tecnológicas que aumenten la eficiencia, el ahorro de costes y la rápida ejecución de transacciones, para que redunden en una mayor inclusión financiera, y un menor coste de financiación, evitando los obstáculos derivados de su mala utilización. Es decir, instaba al gobierno a la necesidad de iniciar el desarrollo legislativo pertinente para aprovechar las ventajas que brinda la tecnología, pero evitar o limitar los riesgos.

Proposición no de Ley sobre regulación, tributación y comunicación del uso legal de criptomonedas y la tecnología blockchain. Presentada el 6/03/2018 por el Grupo Parlamentario Ciudadanos e instaba al Gobierno a crear una Autoridad Independiente de Protección del Consumidor e Inversor Financiero que unifique y refuerce los servicios de reclamaciones y de protección de los tres supervisores financieros (banca, valores, seguros) para recuperar la confianza de los ahorradores y usuarios de servicios financieros y "regular las obligaciones de información a la Agencia Tributaria por parte de los intermediarios financieros en la compraventa de criptomonedas, al objeto de lograr una adecuada y efectiva

tributación. En materia fiscal en España es el único aspecto donde la fiscalidad está definida y se debe tributar en el IRPF e Impuesto de Sociedades las pérdidas y ganancias de patrimonio como consecuencia de la compraventa y plusvalía/minusvalía correspondiente como cualquier activo financiero (Martí Miravalls, Criptoactivos y regulación: nueva normativa española y propuesta europea sobre Markets in Crypto-assets (MICA), 2021).

Proposiciones no de Ley en Comisión (presentada el 22/06/2018) sobre la introducción de la tecnología blockchain en la Administración Pública presentada por el Grupo Parlamentario Popular donde se instaba al Gobierno a introducir la tecnología blockchain en la Administración pública para la mejora de los procesos internos y la Proposición no de Ley sobre regulación, tributación, comunicación del uso legal de criptomonedas y la tecnología blockchain presentada el 15 de marzo de 2018 por el Grupo Parlamentario Ciudadanos donde se instaba al gobierno a la creación de una autoridad independiente de protección al consumidor e inversor financiero.

Solicitud de creación de una Subcomisión, en el seno de la Comisión de Economía y Empresa, para el estudio sobre la regulación de las criptomonedas y el uso de la tecnología de blockchain presentada el 17/07/2018 presentada por el Grupo Parlamentario de Unidas Podemos (Hernández-Bejarano & García Mandaloniz, 2020).

Lo que buscaba el Gobierno del Partido Popular era la creación de un marco para que se puedan desarrollar condiciones favorables en España para este mercado emergente, pero además a esto que España pudiera ser origen o cuna para nuevas criptomonedas. Daban la bienvenida al blockchain. En ese momento existía elevada incertidumbre sobre el posicionamiento del nuevo Gobierno del PSOE. El encargado del Proyecto de Ley del Partido Popular y según él esta tecnología de Blockchain impulsaría la innovación en varios sectores de la economía como el financiero, el de educación y el de la salud entre otros y el

proyecto de ley se dirigía hacia una reducción en la carga impositiva en las pequeñas empresas que se especializan en tecnologías, como las que usan impresión en 3D, las que se enfocan en Big Data o las que se especializan directamente con el Blockchain (Rodríguez Fernández, La tributación y el control tributario de las criptomonedas en España-Tesis, 2021).

En España también encontramos a la Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNMV), y su entonces presidente Sebastián Albella, quien ha puesto en valor el uso en constante aumento de las criptomonedas. El regulador, junto con el Banco de España, sigue examinando las ventajas y desventajas de las criptomonedas, ya que es un activo emergente que está en aumento e involucraría una nueva era en materia económica. No obstante, el regulador emitió un comunicado advirtiendo del enorme riesgo de las criptomonedas.

En dicho comunicado del 8 de febrero de 2018 (Comisión Nacional del Mercado de Valores, 2018), se analiza el elevado riesgo e inteligibilidad de las operaciones con criptomonedas. Especialmente, cuando se lanzan al mercado las ICO's (Initial Coin Offerings, acrónimo que evoca la expresión IPO en el proceso de salidas a bolsa y significa el mercado primario de criptomonedas o tokens), que es un medio de financiación de proyectos similares al capital riesgo venture capital. Este tipo de inversiones es a las que el gobierno español se refiere, ya que debería tener un material explicativo sobre los riesgos reales, debería existir algún tipo de entidad financiera registrada en el proceso de comercialización y la normativa a nivel Europa. Una divisa o dinero tiene 3 funciones principales:

- Medio de pago
- Unidad de cuenta
- Depósito de valor

En dicho comunicado conjunto (CNMV y Banco de España), ambas instituciones españolas cuestionaban las tres funciones (no es obligatorio

aceptarlas como medio de pago y advierten de su aún reducida liquidez) pero cuestionan la utilidad principalmente como depósito de valor por la fuerte volatilidad de su cotización. La advertencia de ambas entidades se fundamenta en la carencia de regulación precisamente, que las emisiones de ICOs no han sido registradas ni verificadas por organismos supervisores y por tanto carecen de garantía o protección que la legislación española confiere a los productos bancarios o de inversión (Sanz Bayón, 2020).

El principal objetivo en España, con estas proposiciones, es prestar seguridad a los inversores. Proporcionar garantías para los que usan estas criptomonedas, lo que traería una expansión en el mercado y en el uso de ICO's para que las empresas puedan financiarse, aspecto que sería bienvenido dada la reducida penetración del mercado de capital privado o de riesgo en nuestro país.

Las proposiciones de ley van encaminadas a fomentar esta nueva tecnología. La inspiración, en gran medida, ha sido Suiza. Suiza ha sido catalogada como la capital mundial del Blockchain (Suiza ha afirmado que quiere convertirse en una "cripto nación"). (Sedeño López, 2020).

Por otro lado, entidades supranacionales como la ESMA (Autoridad Europea de Valores y Mercados) ha realizado advertencias a los inversores sobre los elevados niveles de riesgos que se corren al invertir en estas criptomonedas, ya que las personas desconocen los riesgos reales en muchos casos (ESMA, EBA, EIOPA 2018).

El 9 de febrero de 2021 la CNMV y el Banco de España volvieron a emitir un comunicado conjunto. En dicho comunicado, ambas instituciones reconocen que la tecnología y las criptomonedas pueden ser elementos que dinamicen y modernicen el sistema financiero en los próximos años. No obstante, advierten de la necesidad de tener presente los riesgos que presentan. Advertían de la carencia de un ámbito regulatorio en la Unión Europea (en vías de solucionarse, como hemos visto), las

califican como inversión de alto riesgo e instrumentos complejos, carencia de información en la formación de los precios de los exchanges, reducida liquidez, advierten que no tienen consideración como medio de pago (ni respaldo público ni cubiertas por mecanismos de protección al cliente), advierten de posibles problemas derivados de su carácter transfronterizo y advierten de las posibilidades de robo o estafa (Rodríguez Juliani, 2021).

Regulación en Japón

La razón para la inclusión de una parte de la presente tesis para el estudio de la regulación en Japón es debido a que dicho país, es el mayor mercado de la criptomoneda más consolidada: el Bitcoin. Además, Japón cuenta con una legislación pionera sobre las criptomonedas y los mercados de este tipo de divisas. Aproximadamente, el 50% del volumen del Bitcoin se intermedia en Japón. El volumen de personas que operan con criptomonedas en Japón supera los 3,5 millones (Moya, 2020). El 2017 resultó un año clave para la regulación y el crecimiento de las criptomonedas (o virtual currencies como eran denominadas en la legislación nipona, la Virtual Currency Act aprobada el 1 de abril de 2017 como modificación de la Payment Services Act (Gil Soriano, 2018) y con la referida ley se introdujo una legislación para la aprobación de los intermediarios o exchanges de Bitcoins. En esta acta se regulan diferentes aspectos relevantes para el desarrollo de esta modalidad tecnológica, seguridad del mercado y las garantías requeridas por los inversores para tener la posibilidad de invertir con garantías en este tipo de moneda virtual.

En esta acta se define a las divisas/monedas virtuales como el Bitcoin de la siguiente forma (Hurtado Cuellar & Gracia Torres, 2019) (Martínez Cruz & Meneses Alfonso, 2021):

- Valor de propiedad que puede ser utilizado por personas no especificadas para el pago de un valor equivalente por bienes comprados, tarifas de alquiler

- o servicios, que pueden ser comprados o vendidos a personas no especificadas, y que es transferible a través de un sistema de procesamiento electrónico de datos (limitado a valores de propiedad que se almacenan electrónicamente, excluyendo activos denominados en moneda y moneda) o
- Valor de la propiedad que puede intercambiarse mutuamente por personas no especificadas y es transferible a través de un sistema electrónico de procesamiento de datos

De este modo, las autoridades niponas encuadran a las divisas virtuales como propiedad (del mismo modo que el IRS americano), la cual puede ser utilizada para el pago de bienes y servicios y además puede intercambiarse.

Dicha regulación para la supervisión de los intermediarios era necesario tras el colapso de Mt Gox (intermediario de bitcoin de Tokio que intermediaba hasta 2014 el 70% del volumen de bitcoin y pidió la situación concursal, suspendió operaciones y cerró su web tras el robo de 850.000 bitcoins o 450 millones de \$ de la época) en febrero de 2014. Ello provocó que el legislador japonés regule esta materia para dotar de seguridad al mercado y a las personas que deciden invertir en este tipo de activos. En cuanto a la fiscalidad de las criptomonedas, o cryptoactivos como prefiere denominar el legislador japonés, debemos indicar que el legislador fiscal ha categorizado las rentas derivadas de la inversión en este tipo de activos en el impuesto sobre la renta nipón (shotoku-zei) entre las rentas calificadas como miscelánea y, por tanto, no las considera como ganancia de capital. Esta calificación supone que se creen algunas distorsiones cuando las criptomonedas no se utilizan como un activo, sino como medio de pago. No obstante, los japoneses utilizan las criptomonedas como activo financiero de inversión (el 80% de las transacciones en Japón se realizan con dinero físico). Asimismo, genera una tributación más desfavorable que otro tipo de rentas, en concreto si se considerase como plusvalías. Por tanto, el gravamen sobre criptos en Japón es elevado, aunque sea una jurisdicción “amiga” con las nuevas

tecnologías. Con relación al impuesto sobre el consumo japonés (shôhi-zei) la administración japonesa eximió la inversión de criptoactivos (Carrera-López, Jean Steve; Sánchez-Lunavictoria, Jacqueline Carolina; Loza-Torres, Andrés Gustavo, 2020).

Los legisladores nipones cambiaron la calificación de monedas virtuales por criptoactivos por diversas razones (Bedecarratz Scholz F. J., 2018) (Garcia-Ramos Lucero & Rejas Muslera, 2022):

- Se ha utilizado en diversos debates internacionales.
- Pretende evitar malentendidos que puedan hacer pensar que la moneda virtual es equivalente a la moneda fiduciaria.

Tras el escándalo de Mt Gox, el Gobierno Japonés comenzó a desarrollar nuevas regulaciones en torno a las divisas virtuales. La FSA (Financial Services Agency) estableció un grupo de trabajo en 2014 y 2015. El grupo de trabajo recomendó en su informe final (Cáliz, 2020) (González Soltero, 2014):

- Establecer un registro en el regulador para las empresas de exchanges (mercados de negociación) de las divisas virtuales.
- Imposición a las transacciones de criptomonedas la regulación sobre blanqueo de capitales.
- La elaboración e imposición de un sistema para proteger a los inversores y usuarios sobre criptomonedas.

Pasando al aspecto descrito del registro de proveedores, ninguna persona puede operar en el Servicio de Intercambio de Monedas Virtual a no ser que la persona esté registrada ante el primer ministro (art. 63.2). Posteriormente, la entidad debe estar disponible para la inspección pública (art 63.4). Sobre el aspecto relativo a la seguridad de información, el art. 63.8 del Acta establece que un proveedor de servicios de virtual currencies debe adoptar todas las medidas

necesarias encaminadas a evitar fugas y pérdidas de información perteneciente al servicio de Exchange de monedas virtuales y garantizar controlar dicha información.

La FSA es una entidad pública japonesa dependiente del Gobierno cuyas competencias son la supervisión de bancos, compañías de seguros y agencias de valores. Sus competencias son la inspección, supervisión y velar por la transparencia del sistema financiero a través de la Comisión de la Securities and Exchange Surveillance Commission (Martinez Cruz & Meneses Alfonso, 2021).

El informe fue remitido al Consejo Financiero de la FSA. Posteriormente, el Gobierno ordenó la modificación de la PSA (Payment Services Act) al Parlamento Japonés y la PSA fue modificada en 2016 y las modificaciones tomaron efecto el 1 de abril de 2017.

La reforma legislativa no se quedó ahí, la iniciativa jurídica continuó. El 31 de mayo de 2019, el “National Diet” (legislatura bicameral japonesa, se compone de la “house of representatives” y la “house of Councillors”) elaboró una Enmienda para la PSA (Payment Services Act) y la FIEA (Financial Instruments and Exchange Act) que fue promulgada el 7 de junio de 2019, la “enmienda 2019”. Esta enmienda impone modificaciones sustanciales en el escenario regulatorio japonés de los criptoactivos (Omagari & Sako, 2019):

- El trading con criptoactivos con apalancamiento y derivados con subyacente con criptoactivos estarán sujetas a la regulación general sobre activos financieros derivados.
- Cierta tipología de criptoactivos que se distribuyen a través de tecnología DLT (como Blockchain) serán regulados como activos financieros o securities Tipo 1. Por ello, los ICOs u oferta de dichos activos serán objeto de revisión por parte de las autoridades regulatorias.
- Las empresas cuya actividad esté relacionada con la custodia de criptoactivos requerirán la concesión de una licencia.

Conclusiones

Como conclusión general en la regulación, las criptomonedas están en conflicto con la regulación. Son producto de la creación descentralizada y el comercio sin la existencia de un supervisor encargado del control sobre su creación y su valor. Los gobiernos pueden regular y controlar de forma efectiva las divisas convencionales, pero las divisas digitales están lanzadas por una tecnología de registro compartido con un network de información conjunto por las empresas y los particulares fuera del perímetro de gobiernos y los bancos. Los bancos y las autoridades no pueden impedir que los agentes transfieran criptomonedas si no se convierten en divisas tradicionales previamente. Con las criptomonedas, los supuestos y bases legales pre-existentes, en todos los ámbitos: desde aquellos que regulan el patrimonio, los brokers y los intermediarios, acción punitiva de las autoridades son difícilmente extrapolables y no son eficientes en el mundo virtual. El derecho positivo carece de eficiencia con los Smart contracts, transacciones financieras no reversibles y la existencia de anonimato entre las partes.

El uso del Bitcoin y de otras criptomonedas aumenta con rapidez y se utilizan en e-commerce para la adquisición de bienes (tanto legales como ilegales). Las criptomonedas son intercambiadas en plataformas de trading y numerosas compañías han invertido en la tecnología. Los aspectos técnicos están bien establecidos, pero el escenario regulatorio y legal aún no está especificado en la mayor parte de las jurisdicciones. El estado del arte en los aspectos jurídicos es primario. Es entendible, es una tecnología nueva respecto a la cual el derecho positivo tiene pocas aplicaciones. Con la aparición del dinero electrónico no existió conflicto alguno con la aplicación de la ley tradicional (los destinatarios ya estaban regulados anteriormente ya que la innovación jurídica se centró en la banca). Con las criptomonedas, en cambio, los conceptos legales pre-existentes, desde los

relativos a la propiedad, brokers, liquidación, entre otros, son de difícil extrapolación (S.Graf, 2015).

Ello supone una grave amenaza para el sistema financiero y las finanzas públicas. Las autoridades regulatorias han reaccionado con demora. Los fenómenos económicos o sociales con frecuencia suceden con mayor rapidez de lo que los gobiernos o los órganos legislativos son capaces de procesar. ¿Por qué han tardado en reaccionar? Es posible que hayan pensado que, si regulaban las criptomonedas, estarían debilitando la confianza en las divisas o monedas de curso legal y minar el sistema monetario. Otra posibilidad es que muchos gobiernos no supiesen simplemente cómo afrontar y regular este fenómeno.

Las ventajas tecnológicas son inmensas a nivel de eficiencia operativa (por ejemplo, pensemos empresas como Paypal utilizan un tercero a efectos de verificación entre las partes por lo que el proceso sería más eficiente con Blockchain) y costes para el e-commerce pero es cierto que el Bitcoin sirve como un sustituto anónimo del dinero para las actividades ilegales. La principal ventaja de su adopción es que su código está encriptado y como el network está descentralizado a través de diversos servidores, la seguridad y transparencia es muy elevada.

Desde el punto de vista del derecho público, los aspectos más relevantes son los relativos a la regulación y la fiscalidad. Como el Bitcoin y el resto de las criptomonedas es un sustitutivo del dinero, las administraciones han comenzado (finalmente) a dibujar el escenario regulatorio. Las primeras iniciativas regulatorias se centraron en los aspectos conceptuales de las criptomonedas (Tribunal de Justicia de la UE, sentencia del 22 de octubre de 2015 donde determinaba que las operaciones de cambio con criptomonedas están exentas de IVA al ser dinero digital y no un commodity) y posteriormente en la prevención de uso ilícito de las mismas. Por otro lado, como cada usuario e inversor es un potencial contribuyente y cada plataforma de trading/exchange es una empresa con beneficios por las

comisiones del trading, el foco legal se ha centrado en la fiscalidad de las operaciones en las jurisdicciones principales, como hemos examinado en los apartados anteriores.

Desde el punto de vista del derecho penal, los aspectos relevantes son los relativos al blanqueo de capitales, robo de criptoactivos, chantajes en la red y temas relativos a la protección de datos. Las transferencias y los wallets ofrecen anonimato, al contrario que las transferencias y las cuentas corrientes tradicionales. No obstante, como las criptomonedas solo existen y operan de forma virtual, es muchas ocasiones es difícil aplicar la regulación penal tradicional.

Debido al uso frecuente de las criptomonedas en el comercio electrónico o e-commerce, cuestiones relativas a la aplicación legislativa es relevante desde el punto de vista del derecho civil.

Las iniciativas legislativas que se han comentado son muy importantes para establecer protocolos de uso, muy especialmente en las instituciones financieras como los bancos. Los bancos son instituciones muy interesadas en la optimización electrónica debido a que es de los sectores más afectados por la innovación tecnológica. Es obvio que la tecnología aporta numerosas ventajas por lo que el principal obstáculo a la innovación ha sido, hasta ahora, la inseguridad jurídica derivado de la incertidumbre regulatoria.

Por tanto, el desafío legislativo más relevante con los criptoactivos es la definición de su naturaleza jurídica y su tipología. Además, el carácter transnacional de los mismos y los distintos actores pueden estar domiciliados en jurisdicciones distintas. Es posible que nunca en la historia fuese tan necesario un consenso internacional en materia regulatoria. El futuro de las criptomonedas depende de su viabilidad como forma de dinero, y el riesgo regulatorio es de los más relevantes derivados de la actitud hostil de economías y jurisdicciones relevantes (como

China). El futuro es mucho más alentador para la tecnología subyacente Blockchain, con aplicaciones en otros ámbitos.

Cuadro 2

Resumen Tendencias Regulatorias de Criptomonedas en: Europa, Estados Unidos y Japón.

	Marco fiscal	Legislación	Consideración fiscal nacional	Regulación
Europa	MICA	Homogénea para todos los miembros	Se consideran activos patrimoniales	Normativas fiscales comunes a los estados miembros
EEUU		Heterogeneidad de normativas	Activo financiero, valores o divisas, materias primas (no consenso entre comisiones)	No regulación de ley federal específica para criptomonedas
Japón	Virtual Currency Act	Homogénea en todo el país	Se considera un Medio de pago legal	Normativas fiscales y contra el blanqueo de dinero y financiación del terrorismo

Elaboración propia

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO DE LA VALORACIÓN DE LAS CRIPTOMONEDAS

En este capítulo se presentan y analizan diferentes métodos y teorías que se vienen utilizando en la literatura académica para valorar las criptomonedas. La valoración de las mismas supone un desafío relevante. La alta volatilidad que se registra induce a pensar que los precios registrados pueden incorporar dosis de psicología (aspectos analizados en el *behavioural finance*) por parte del inversor. Dado que el objetivo de esta tesis es analizar las criptomonedas como un *asset class*³ a disposición de los inversores, resulta pertinente realizar una revisión de las propuestas para la valoración de las criptomonedas. El campo de investigación sobre la valoración de las criptomonedas aún es incipiente y se están estudiando y probando métodos de valoración, pues las dudas sobre el valor de las criptomonedas son razonables y los métodos tradicionales de valoración tradicional no encajan para ser aplicados a las criptomonedas, por lo que hay que buscar alternativas para su valoración (Lamothe & Lamothe, 2020)

Los métodos y teorías que se van a analizar para la valoración de las criptomonedas son los siguientes:

- Teoría cuantitativa del dinero
- Ley de Metcalfe
- Metodología del valor presente

³ “Un *asset class* es una agrupación de alternativas de inversión (financieros o reales) que presentan características similares y están sujetas a las mismas leyes y reglamentos. Por lo tanto, las clases de activos se componen de instrumentos que a menudo se comportan de manera similar en el mercado. Los ejemplos de clases de activos comunes incluyen acciones, renta fija, materias primas o inmobiliarios” **Fuente especificada no válida..**

- Teoría del mercado eficiente (Efficient market theory)
- Behavioural finance (Psicología en las finanzas)
- Valor Metagame.

A continuación, se describen cada uno de los métodos y teorías propuestos.

Teoría cuantitativa del dinero

La teoría cuantitativa del dinero es una teoría económica que intenta explicar el nivel general de precios. No es de origen reciente, surgió en Europa para explicar el aumento de la inflación a raíz de la llegada de metales preciosos de América (Blasco-Martel & Riera i Prunera, 2016) y estudiar la capacidad adquisitiva del dinero. Lo hace desde un enfoque monetario y relaciona la oferta monetaria y el nivel general de precios.

En 1911 Fisher le da cuerpo a la teoría, desde una perspectiva macroeconómica, al definir la formulación y señalar que $MxV=PxT$, es decir, que la cantidad de dinero existente en la economía es igual al valor total de las transacciones efectuadas (PxT), o número de veces que se utilice cada unidad monetaria, por esto también se le conoce como el enfoque de transacciones (Rísquez, 2006).

Posteriormente en 1917 Marshall y Pigou le dan a la teoría un enfoque de microeconómico, y refieren que la velocidad de circulación del dinero dependerá de las preferencias individuales.

Por su lado, el enfoque Keynesiano definió los factores que influyen en la demanda de dinero: motivo para la realización de transacciones (cobertura de imprevistos, precaución) y por motivos especulativos (Keynes, 1943). De este enfoque surgió la relación positiva entre demanda de dinero y renta así como la relación inversa en el motivo especulativo con los tipos de interés.

Finalmente, la reformulación más monetarista de Friedman, el cual afirmó que la teoría cuantitativa del dinero no es más que una teoría de la demanda del dinero. Friedman asume que la velocidad de circulación no es una constante numérica, sino una función estable y predecible de un número limitado de variables, incluyendo, la tasa de interés (Mueller, 1985). No se focalizó en los motivos de los agentes para demandar dinero, sino en los factores para el mantenimiento del dinero por parte de los agentes.

En suma, la teoría cuantitativa del dinero hoy se considera muy útil para la política de estabilización monetaria (Ritter, en Mueller, 1985).

Ahora bien, cabría preguntarse, cómo se vincula la teoría cuantitativa del dinero con el fenómeno de las criptomonedas tomando en consideración lo comentado con anterioridad. Si los criptoactivos son una divisa, en ese caso se puede aplicar la teoría clásica cuantitativa del dinero (QTM). Es una identidad que afirma que el valor de las transacciones en un periodo (T) es igual a la cantidad de dinero en una economía (M) multiplicado por la velocidad de circulación (V), el cual definimos como la cantidad de veces que una unidad de cuenta cambia de manos en un periodo temporal (Lamothe Fernández, 2020).

$$P \times Q = M \times V$$

A modo de ejemplo, y siguiendo a Lamothe F., en la ecuación de Fisher

$$M \times V = P \times T$$

donde

P es el nivel de precios

Q es nivel de producción de bienes y servicios de la economía

M es la cantidad de dinero (expresado en una divisa)

V es la velocidad de circulación del dinero (nº de veces que el dinero cambia de manos)

Para los criptoactivos quedaría la ecuación de la siguiente manera:

En el ámbito de los criptoactivos se sustituye $P \times Q$ por el volumen de transacciones en el periodo T por lo que la ecuación anterior se cambia a

$$M \times V = T$$

A su vez M debe ser igual a

$$M = N \times Pc$$

donde:

N es el número de criptomonedas o criptoactivos emitidos

Pc es su precio unitario

Evidentemente, el interés está en averiguar cuál debe ser el precio correcto del criptoactivo, es decir, la incógnita en el análisis es Pc (Lamothe & Lamothe, 2020).

Esta sería la manera en que se aplicaría la teoría cuantitativa del dinero a las criptomonedas. Pero también es importante señalar que hay otras variables que se deben considerar al momento de valorar el bitcoin y otras criptomonedas, esto es:

- su aceptación como medio de pago
- velocidad de circulación
- el costo eléctrico y en el caso del bitcoin el hecho de que su número sea limitado y el efecto *halving*⁴ (Lamothe & Lamothe, 2020).

Ley de Metcalfe

Robert Metcalfe formuló su teoría en 1976 y su argumento central es que el valor de una red de telecomunicaciones es proporcional al número de usuarios del sistema (al cuadrado)

⁴ La palabra *halving* de origen anglosajón traduce literalmente “reducir a la mitad”; en el caso del Bitcoin cuando el minero logra validar un nuevo bloque recibe una recompensa en forma de Bitcoin, pero los mineros deben considerar que cada 4 años se produce un *halving*, llevando la producción a la mitad, lo cual significa que hay una oferta limitada de Bitcoin, y si hay una demanda alta de esta criptomoneda, entonces el precio tenderá a subir. El próximo *halving* ocurrirá en 2024, pues Nakamoto en el diseño de producción estableció que cada 210.000 bloques la cantidad de Bitcoin que se dan de recompensa se reducen a la mitad (Lamothe & Lamothe, 2020)

n²

La teoría de Metcalfe se formuló en principio para Ethernet, pero en marzo 2005 Andrew Odlyzko y Benjamin Tilly publicaron un estudio donde afirmaban que la ley de Metcalfe sobrevaloraba el valor de la red. (Odlyzko & Tilly, 2005). No obstante, existen estudios que certifican la validez de la ley para los networks o redes de Blockchain. (Alabi, 2017), y también fue utilizado por el famoso modelo desarrollado por Peterson (Peterson, 2018).

Basado en la ley de Metcalfe, Ben Van Vliet escribió un paper muy interesante desarrollando un modelo sobre la ley de Metcalfe como base (Vliet, 2018) donde proponen aumentar el modelo de Peterson con dos contribuciones, básicamente el modelo de Rogers donde incorpora parámetros de población y sus tasas de crecimiento (Rogers, 1962). La ley de Metcalfe, como hemos dicho, describe como el valor de una red (por ejemplo, red de usuarios del bitcoin) que sea proporcional al cuadrado del número de usuarios. La red de usuarios de bitcoin tendría una valoración más alta cuando n aumenta según:

$$M=n(n-1)/2$$

Según esta hipótesis, el número de usuarios de bitcoins en circulación es una variable que determina su cotización (hipótesis relacionada directamente con la reciente disciplina denominada network economics, orden económico emergente relacionado con la sociedad de la información), con objeto de intentar determinar una función final con todas las variables que influyen en el precio de la criptomoneda. Un ejemplo ya clásico es una red social, como Facebook, tendrá más valor cuantos más usuarios tenga para poder interactuar con más amistades y poder publicitar más caro; otro ejemplo es una máquina de fax la cual por sí sola no tiene valor, su valor aumenta en la medida en que hay otras máquinas conectadas.

Esta ley es muy defendida por el fundador de la compañía de Estados Unidos FundStrat Thomas Lee (considerado uno de los mayores expertos en

criptomonedas), donde realizó un estudio empírico con datos de 4 años y afirma que el 94% del movimiento del Bitcoin puede explicarse con esta relación. (Lee, 2017). Lee dice que el valor del Bitcoin (o de cualquier otra criptomoneda) es proporcional al número de usuarios (elevado al cuadrado), multiplicado por el valor medio por transacción.

Metodología del valor presente neto (VPN)

Aunque la Metodología del Valor Presente Neto (VPN) ha demostrado no ser efectiva para determinar el valor de las criptomonedas, fundamentalmente porque los cryptoactivos no generen flujo de caja (Lamothe Fernández, 2020), sí que se ha intentado aplicar para determinar su valor, por lo que merece la pena mencionar en qué consiste.

El método del VPN también se conoce como valor actual neto o valor actualizado neto, y se utiliza fundamentalmente para evaluar inversiones (actuales o potenciales) y calcular el rendimiento de la misma, comparando flujo de caja y tasa de interés.

Alvarado, presenta un estudio exploratorio sobre la valoración de las criptomonedas basado en el método VPN, tomando como punto de partida que las criptomonedas son un activo financiero digital (Alvarado, 2020). Su estudio experimental toma como base el crecimiento del bitcoin entre 2012 y 2019 de 89,37%, de acuerdo a datos de Blockchain 2020.

$$VPN = \frac{FE_n}{(1 + k)^n}$$

Donde:

FE representa el flujo de efectivo t.

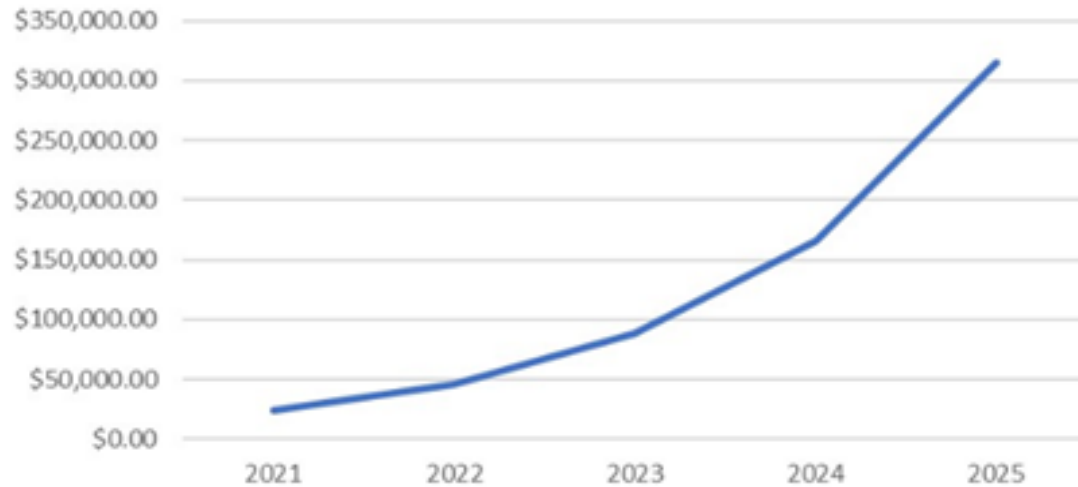
n es el número de período o tiempo.

k es costo de capital o la tasa de descuento.

Bajo esta ecuación Alvarado llega a los siguientes datos:

Gráfico 7

Precio Proyectado basado en crecimiento de transacciones a valor presente neto



Fuente: Alvarado, 2020.

Finalmente, el autor cierra su trabajo con la siguiente reflexión:

“Hay que recordar que sólo es un ejercicio experimental en la búsqueda de métodos para valorar criptomonedas, ya que, debido por una parte a su alta volatilidad y por la otra, a la gran resistencia del Sistema Financiero Internacional y de los gobiernos a que entren como alternativa al dinero fiat, no han podido ingresar con plenitud a competir con las divisas fiat (...) [y] se proponen nuevas líneas de investigación con métodos financieros de valuación como el CAPM, el APT, Black & Scholes, modelo binomial, entre otros para experimentar nuevas posibles valuaciones del criptoactivo más importante: el Bitcoin”. (Alvarado, 2020).

Esta propuesta experimental no ha recibido mucha acogida entre los investigadores, pero es parte del proceso de construcción de posibles métodos de valoración de criptomonedas.

La Teoría del Mercado Eficiente (Efficient Market Theory)

La Teoría del Mercado Eficiente (TME) fue creada por el premio Nobel de Economía Eugene Fama en 1970 y plantea fundamentalmente que: “Un mercado es eficiente cuando los precios de los bienes que se negocian en él son un buen estimador del valor intrínseco de esos mismos bienes. En otras palabras, el precio de los bienes coincide con el valor de estos” (García, 2017). Pero, lo que ocurre con esta teoría es que en los mercados “reales” suele haber diferencia entre precio y valor. La eficiencia del mercado se categoriza según sea: Débil, Semi-Fuerte y Fuerte.

Refiere García, que un mercado para ser eficiente debe reunir tres características, a saber: ser homogéneo, tener muchos compradores y vendedores y no existir barreras de entrada o de salida (2017).

Un ejemplo práctico de esta teoría, aplicada a las criptomonedas es la investigación de Cortéz y Hernández; quienes se plantearon “Someter a prueba la hipótesis de eficiencia de los mercados de criptomonedas mediante gráficos y pruebas estadísticas para el planteamiento de estrategias de negociación a partir de los resultados encontrados en las diferentes pruebas” (2021). Las pruebas estadísticas utilizadas en esta investigación fueron: *chi cuadrado*, *LJung-Box* y *Automatic Variance Ratio*, *Runs y Bartels*, *BDS* y *R/S Hurst*, donde cada una de estas pruebas llegó a las siguientes conclusiones:

Cuadro 3

Pruebas estadísticas para definir estrategias de negociación en criptomonedas	
<i>Chi cuadrado:</i>	Los retornos logarítmicos de la mayoría de las criptomonedas no siguen una distribución Normal.
<i>LJung-Box y Automatic Variance Ratio:</i>	Se detectaron problemas en las frecuencias más bajas en la mayoría de los activos.
<i>Runs y Bartels:</i>	Rechaza la hipótesis de independencia de los precios en las frecuencias más altas y en las frecuencias más bajas en todas las criptomonedas.
<i>BDS:</i>	Solamente dos criptomonedas en dos frecuencias no rechazaron la hipótesis de aleatoriedad de los retornos.
<i>R/S Hurst:</i>	Con la que se midió la persistencia o la anti-persistencia de la tendencia de los precios y se encontró que muy pocas monedas en algunas frecuencias presentan alguna de las dos condiciones evaluadas.

Fuente: Elaborada a partir de Cortéz y Hernández, 2021

Partiendo de estos resultados, los autores llegan a la conclusión que no se cumple con la eficiencia en el mercado de criptomonedas, por lo que plantean una estrategia de arbitraje basada en la cointegración⁵ de las series de precios entre parejas de monedas, pues de esta manera se minimiza el riesgo de la inversión (Cortés Durán & Hernández Vega, 2021).

Teoría sobre el Comportamiento Humano dentro de las Finanzas: el Behavioural Finance

La escuela neoclásica de economía propuso el término *Homo economicus*, para referirse al racional comportamiento humano frente a situaciones de tipo económico, lo cual derivó en construcciones matemáticas y propuestas como la Teoría de la Elección Racional del Siglo XX. Así el “hombre económico”, es un ser racional que busca de manera consciente su bien y riqueza (Persky, 1995).

⁵ La cointegración es una relación entre dos variables que se mantiene a lo largo del tiempo Vid. Engle & Granger, 1987).

Las finanzas conductuales, es un tema profundo que no debe ser tomado a la ligera, es un área a la que se le ha dedicado mucha investigación y cuya producción académica ha sido prolija.

Entre los temas que se pueden encontrar en esta área se encuentran: psicología del consumidor, economía conductual, y finanzas conductuales, y dentro de estas se encuentran estudios sobre la racionalidad limitada, neurofinanzas, análisis cerebral de los inversionistas, entre otros (Aya & Ospina, 2019).

Por su parte, la psicología cognitiva ha realizado aportes muy importantes al señalar que “diversos fenómenos psicológicos tienen influencia en la toma de decisiones económicas”, y estas decisiones son parte de un proceso de pensamientos que involucran los sesgos, la heurística y el enmarcamiento: “se entiende por sesgo a una predisposición hacia el error; por heurística las reglas de fuerte base empírica para tomar decisiones, son atajos mentales, y por enmarcamiento la aproximación del fenómeno” (Pascale & Pascale, 2011)

No todas las decisiones son racionales, de allí que la Behavioural Finance explique esta situación a través de lo que se conoce como el **efecto rebaño**, por ejemplo, cuando una persona toma la decisión de invertir donde otros ya lo han hecho solo para no estar solos en la decisión tomada. Pero también hay otros elementos que se deben considerar como lo son el exceso de confianza, el sesgo presente y la ilusión del control, en otras palabras sobrevalorar, quedarse anclado en el presente por seguridad y creer que se tiene el control de todo (BBVA, 2023).

Behavioural Finance, es un concepto moderno y de creciente interés en la literatura financiera muchos agentes económicos (particulares e institucionales) no adoptan conductas “racionales” (como lo definió Harry Markowitz) (Markowitz, Markowitz Revisited, 1976). En el caso que nos ocupa, las criptomonedas son nuevas y están de “moda” y las acciones y los bonos son viejas y “aburridas”. Esto podría llevar a agentes a pagar precios más elevados por participar en ICO’s que en IPO’s (OPV’s, salidas a bolsa, mercados primarios).

En el caso de los criptoactivos, la determinación de un valor intrínseco es un reto complicado y la evidencia empírica muestra que los aspectos psicológicos juegan un papel relevante. Experimentos empíricos han demostrado que, en ciertas situaciones, las decisiones humanas en el plano financiero no se corresponden con los conceptos tradicionales de Markowitz como inversores financieros racionales que adoptan decisiones óptimas. Eso no quiere decir que un modelo financiero sea inútil. Mientras que encontremos patrones de comportamiento predecibles y sistemáticos (para esta tesis, para las criptomonedas e ICO's), aunque no sean racionales en el sentido de Markowitz, el modelo tendrá sentido (Rodríguez Bravo, 2020).

Valor Metagame

¿Qué significa? Proviene de las palabras inglesas "Most efficient tactic available" y puede traducirse como: elegir la opción más eficiente dentro de un abanico de posibilidades. En el entorno de las criptomonedas, se refiere al concepto que el criptoactivo tendrá más valor si el propósito de su uso es el correcto. Las *start ups* de blockchain deben considerar el propósito del uso de los cripto-activos, si los mismos pueden utilizarse para fines no correctos, dañar a sus plataformas o beneficiar a sus competidores.

Análisis Fundamental

El término fue introducido en 1934 por Benjamin Graham y David Dodd. El análisis fundamental es una metodología utilizada por los inversores cuando necesitan conocer el valor de un activo, tratando de encontrar patrones de comportamiento a través de variables como: beneficios generados por una acción (BPA), ratios como relación precio-valor-contable o precio-cash flow, y para ello hacen uso de informes económicos, técnicas de valoración de activos entre otros. Es decir, comparan datos de mercado subjetivos con pilares más objetivos sobre información extraída de las cuentas anuales de la empresa.

El análisis fundamental se puede realizar de dos maneras o enfoques, utilizando las variables macroeconómicas y el otro las variables de microeconomía, estas formas se conocen como Top-Down y Bottom – Up.

El análisis fundamental se centra en la valoración de los fundamentos del proyecto de criptomonedas, como la tecnología subyacente, el equipo de desarrollo, la adopción del mercado, tamaño del mercado potencial, uso actual y la competencia en el mercado.

Cuando se va a llevar a cabo un análisis fundamental a una criptomoneda como bitcoin no sólo se toman en cuenta aspectos financieros, sino que también se evalúan datos de las redes públicas. Estos son conocidos como «on-chain metrics», tales como las principales direcciones de hodlers (HODL, “Hold On for Dear Life, no vender tus criptoactivos), el valor de las transacciones, el número de direcciones activas y el hash rate (medida del poder de procesamiento del network) en caso de ser una red de Prueba de Trabajo (PoW), entre otras (Criptonoticias, 2023).

El análisis fundamental se combina o complementa con el análisis técnico lo que hace de este enfoque una herramienta muy integral para analizar el valor de las criptomonedas.

Otras propuestas para la valoración de las criptomonedas

A continuación, se recoge en una tabla un resumen de otras propuestas para la valoración de las criptomonedas, que no pretende ser exhaustiva, pero que da cuenta del creciente interés por el tema en cuestión.

Cuadro 4

RESUMEN DE OTRAS PROPUESTAS DE VALORACIÓN DE CRIPTOMONEDAS	
Autor y Título	Explicación
<p>Alabi (2017)</p> <p>La masa crítica</p>	<p>Analizó algunas redes de cadenas de bloques recientes para determinar si cumplen la ley de Metcalfe. Modelizó el valor de la red en función del precio de la criptomoneda usada en la red y el número de usuarios, medido por el número de direcciones únicas que realizan transacciones en la red. Obtuvo que las redes bitcoin, ethereum y dash resultaron bien valoradas por el modelo de la ley de Metcalfe, que identifica el valor de una red como proporcional al cuadrado de la cantidad de sus nodos o usuarios finales. Adicionalmente, presentó un nuevo modelo según el cual el valor es proporcional al exponencial de la raíz del número de usuarios que participan en la red, un valor que exhibió también un buen resultado del modelo. Alabi no presenta medidas de bondad de ajuste, pero la obtiene de manera gráfica, por ajuste visual.</p> <p>Desde su perspectiva, el valor de la red bitcoin es el valor de la red. Alabi incluye otros dos aspectos de importancia. El primero es que presenta condiciones para determinar la «masa crítica» basada en el nuevo modelo. Si bien en física la masa crítica es la cantidad mínima de material necesaria para que se mantenga una reacción nuclear en cadena, en este caso la masa crítica es un umbral de usuarios a partir del cual la red comienza a crecer o se vuelve viral. Por debajo de ese número, el valor de la red permanece prácticamente estancado y cerca de su punto de partida inicial. El punto es de extrema importancia porque sin masa crítica la red no crece. El segundo aspecto es el potencial para identificar las burbujas de valor: las desviaciones observadas en la realidad con respecto al valor arrojado por el modelo. Las burbujas aparecen cuando los incrementos de valor extremadamente altos no van acompañados de un incremento acorde con el número de usuarios participantes o con cualquier otro desarrollo que pueda producir el valor más alto.</p>
<p>Aloosh (2018)</p> <p>No existe un precio global</p>	<p>Presenta un modelo de precios para monedas digitales que son negociados globalmente en mercados sin fricción; es decir, donde no existen costos ni restricciones asociados con las transacciones. Documenta las discrepancias de precios del bitcoin frente a varios pares de monedas: dólar, euro, libra esterlina y dólar canadiense. Concluye que, a diferencia de otros activos que se comercializan en el mundo (como productos genéricos y monedas), la bitcoin no tiene un precio global. Finalmente, estudia el precio teórico y la volatilidad de las criptomonedas con valor intrínseco cero y concluye que tienen una volatilidad de precio mucho menor que las monedas fiduciarias; por lo tanto, es más fácil regularlas, usarlas y mantenerlas.</p>
<p>Knutson, Liu y Schlenker (2016)</p> <p>La valoración por juicio</p>	<p>Estos autores evaluaron una estrategia de inversión de un millón de dólares utilizando bitcoin y ethereum en un horizonte de cinco años. Encontraron baja correlación entre ambas criptomonedas. Sin embargo, identifican siete elementos que califican de motores de valor de estas criptomonedas (en realidad, de cualquier criptomoneda): estabilidad de la plataforma, seguridad, oferta, demanda, liquidez, volatilidad y sentimiento. El sentimiento implica analizar el conocimiento, la aceptación, el interés y el apoyo de tres audiencias: público en general, gobierno y comunidad digital. En la evaluación de cada elemento se le asigna la misma ponderación y una puntuación que va del 1 al 5, y luego se suman. En resumen, estos autores proponen un método de valoración por juicio que no contradice el concepto de diversificación, en virtud de que los elementos de la cartera no están (o están muy poco) correlacionados entre sí.</p>
<p>Bolt y van Oordt (2016)</p> <p>El valor instrumental</p>	<p>Desarrollan un marco económico para analizar la tasa de cambio de una criptomoneda mediante tres motores de valor: 1) el uso actual de la criptomoneda como sistema de pagos, 2) la decisión de compra de los inversores (que, al mirar hacia adelante, tienen una expectativa de uso futuro de la criptomoneda y regulan su oferta) y 3) un conjunto de elementos que influyen sobre la adopción futura de las criptomonedas y su aceptación por el comercio y los particulares. Por el lado del mercado de los consumidores está la valoración de los beneficios derivados del envío frecuente de remesas, la privacidad y el anonimato, y los beneficios derivados de la adopción de nuevas tecnologías. Desde la perspectiva del resto del mercado están los beneficios derivados del bajo costo transaccional. El motor de valor de una criptomoneda, para Bolt y van Oordt, es su valor instrumental.</p>

Fuente: Elaborado a partir de Tinoco, 2018.

Para finalizar es importante insistir en la idea que los métodos y herramientas para la valoración de las criptomonedas aún están en proceso de construcción y debate, unos más críticos que otros, pero en todo caso, lo que es seguro es que su evolución está marcada por un aspecto técnico, por el desarrollo tecnológico y por una marcada influencia de los factores conductuales de los inversores (comportamiento de manada, decisiones influenciadas por sentimientos y seguimiento de tendencias, retroalimentación positiva, exceso de confianza, entre otras).

CAPÍTULO IV

ESTUDIO E INVESTIGACIÓN ECONÓMICA

Objetivos del capítulo

En el presente capítulo se pretende aportar al conocimiento científico-académico un grado de profundización en la modelización matemática-estadística y definición de las criptomonedas como *asset class* objeto de inversión. Las criptomonedas se están incorporando paulatinamente a las carteras financieras de particulares e instituciones. Las criptomonedas son objeto de publicidad agresiva e influyen en la toma de decisiones (lo cual es objeto de estudio desde el punto de vista del behavioural finance y su efecto en la toma de decisiones no óptimas o racionales) y constantemente aparecen artículos en prensa sobre su elevada rentabilidad. ¿Cuál es su nivel de rentabilidad verificada? ¿Aportan valor desde el punto de vista relativo rentabilidad-riesgo? ¿Se puede modelizar la cotización del Bitcoin?

Teoría sobre series temporales estadísticas y redes neuronales

Con objeto de la proyección o estimación de series temporales se emplean modelos lineales como no lineales. Entre estos últimos, se encuentra los modelos denominados “deep learning” (Selvin, Vinayakumar, Gopalakrishnan, Menon, & Soman, 2017).

Una serie temporal no es sino un conjunto de observaciones ordenadas en el tiempo. Estas observaciones pueden ser tratadas como un proceso estocástico, es decir, como una familia uniparamétrica de variables aleatorias indexadas al tiempo t . Fijado un instante de tiempo t , tendríamos un suceso aleatorio con una distribución de probabilidad asociada de la cual solamente disponemos de una muestra de $n=1$: nuestra observación. X_t sería por tanto la variable aleatoria del suceso en un día concreto, su esperanza sería el valor en ese día y su varianza sería cero (dado que $n=1$). En $t+1$ tendremos otro suceso

aleatorio del cual también tendremos una muestra de tamaño $n=1$ con los mismos problemas, así como en $t+2$, $t+3\dots$, $t+n$. Si estos sucesos aleatorios pudieran ser comparables en el tiempo, es decir, si la serie fuera estacionaria (una serie es estacionaria cuando su distribución y sus parámetros no varían con el tiempo), podríamos encontrar el mecanismo generador del proceso aleatorio que da lugar a la serie en cuestión.

El cumplimiento estricto de las condiciones de estacionariedad es difícil, pero pueden establecerse tres condiciones de estacionariedad (según Andrei Kolmogorov) débil sobre una serie temporal para aplicar su teorema a través de un modelo ARMA, que no es sino una regresión dinámica autorregresiva que tiene en cuenta su propio error. El modelo ARMA es un modelo autorregresivo estacionario donde las variables independientes siguen tendencias estocásticas y el término de error es estacionario.

- *Estas tres condiciones son las siguientes:*
- Media constante. Es decir, la serie no tiene tendencia.
- Varianza constante. Es decir, la serie es homocedástica.
- Covarianza constante. Es decir, la relación entre los datos de dos instantes temporales depende de la distancia entre ellos, pero no de cuáles son.

Como caso particular, si un proceso estacionario cumple otras tres condiciones decimos que es ruido blanco, es decir, impredecible en términos lineales. El ruido blanco se caracteriza por ser una señal aleatoria (proceso estocástico) que se caracteriza por el hecho de que sus valores en dos momentos distintos no guardan correlación estadística. Estas tres condiciones son las siguientes:

- La media de los errores es cero. Es decir, espero no equivocarme en mi predicción (cualquier estimación parte de esta premisa). $E(a_t)=0$
- La varianza de los errores es constante. Es decir, el error es homocedástico. $Var(a_t)=\sigma^2$
- La covarianza de los errores es nula. Es decir, no existe relación entre los errores, es incorrelada. $Cov(a_t, a_{t+h})=0$

En este sentido, la metodología de Box y Jenkins se basa en realizar transformaciones a la serie para conseguir que esta sea estacionaria, tras lo cual ajustamos un modelo ARMA hasta conseguir que la componente no explicada se exprese en forma de ruido blanco. Adicionalmente, una forma de refinar un modelo ARMA o ARIMA es completar al mismo trabajando en la predictibilidad de la volatilidad de su residuo a través de un modelo ARCH o GARCH.

Una vez hayamos conseguido esto habremos agotado las técnicas lineales de análisis predictivo y explicativo de una serie temporal, tras lo cual deberíamos acudir a técnicas no lineales.

Las técnicas lineales ya no pretenden tratar una serie temporal como un proceso estocástico, sino que tratan la cuestión como un problema de regresión más.

Previo a la descripción del tratamiento de modelos no lineales, dentro de la metodología “clásica” de proyección. Los avances tecnológicos no han impedido la continuidad de la utilización de *modelos econométricos* matemáticos tradicionales y aumentar la amplitud de las series analizadas. De hecho, no son mutuamente excluyentes, sino pueden ser integrados e incorporados a los modelos de machine learning y mejorar su capacidad de modelización y previsión de tendencias. Incluso mercados financieros con menor volatilidad histórica que las criptomonedas han mostrado dificultad de la utilización de modelos estadísticos regresivos (Sen, 2021)

Apunta Sen (2021) que la volatilidad que caracteriza los mercados bursátiles impide la utilización de modelos estadísticos simples como la regresión lineal o incluso la polinómica, pero otros modelos econométricos sí que producen niveles de precisión aceptables en el ámbito de la predicción de cotizaciones.

Dentro de las técnicas no lineales de tratamiento de una serie temporal encontramos dos familias de modelos:

- a) Por una parte, modelos de machine learning (Random Forest, Gradient Boosting Trees, Support Vector Machines, etc.). Estos modelos presentan el inconveniente de que no reflejan adecuadamente las relaciones temporales entre los datos. Por ello, si bien en ocasiones pueden producir

mejores resultados que la metodología de Box y Jenkins, no suelen funcionar adecuadamente.

- b) Por otra parte, modelos de aprendizaje profundo (Deep Learning). En este caso debemos acudir a las redes neuronales recurrentes para conseguir captar las relaciones entre instantes temporales. La mejor opción viable dentro de esta familia se reduce a las redes Long Short Term Memory (LSTM). Estos modelos sí capturan patrones estacionales, no lineales y no precisan del cumplimiento teórico de estacionariedad. Su inconveniente es el que acompaña a todo el Deep Learning: se trata de modelos de caja negra en los que además se ha avanzado muy poco en cuanto a técnicas explicativas. Son los mejores modelos en cuanto a capacidad predictiva, pero no es trivial (en ocasiones ni siquiera factible) dilucidar por qué la red ha predicho un resultado.

Al aparecer la inteligencia artificial (IA), aparición en los años 80 del Siglo XX apareció el denominado *machine learning* (ML), el cual se basa en algoritmos matemáticos que permiten a las máquinas aprender. Los algoritmos aprenden de los datos pasados y son capaces de obtener conclusiones y prever con nuevas bases de datos. Más adelante, en 2011, apareció una evolución del ML denominada deep learning (DL). El concepto es semejante, pero a nivel cualitativo los algoritmos difieren. El machine learning utiliza algoritmos de regresión o con árboles de decisión, el deep learning utiliza redes neuronales. Con aplicación a las criptomonedas, ya hay precedentes (Akyildirim, Goncu & Sensoy, 2021) utilizando regresiones logísticas, redes neuronales (NN) y *random forests* o estudios comparando el performance de algoritmos de machine learning para una serie de criptomonedas en series temporales (Hitam & Ismail, 2018). La regresión logística es un algoritmo que puede considerarse como una red neuronal de una capa con una variable binaria. La metodología denominada "*random forest*" es forma de aprendizaje que se basa en la construcción de múltiples árboles de decisión. Reduce el riesgo de overfitting, el tiempo requerido de entrenamiento del modelo y ofrece un elevado nivel de eficiencia. El perceptrón múltiple son las redes neuronales (NN), donde la utilidad radica en su capacidad de captar relaciones no-lineales.

El objetivo de la presente tesis es analizar la aplicabilidad de los modelos Arima sobre una serie temporal de BTC.

Metodología matemática-estadística utilizada en los enfoques de la comunidad científica

Atendiendo a la metodología tras la revisión de una extensa bibliografía, los artículos científicos recientes en los que hemos basado nuestra metodología son los siguientes.

Para la optimización de carteras el estudio de diciembre 2020 (Ma, Ahmad, Liu, & Wang, 2020) donde optimizan una cartera de las cinco principales criptomonedas por capitalización (Bitcoin, Ethereum, Ripple, Bitcoin Cash y Litecoin), acciones de compañías tecnológicas, acciones de empresas industriales y financieras, divisas tradicionales y commodities. Sobre la aproximación metodológica, utilizan la optimización de Markowitz (Markowitz, Portfolio selection, 1952) como aplicamos nosotros:

Aplican rentabilidades logarítmicas:

$$R_{i,t} = \log (P_{i,t} / P_{i,t-1})$$

y con ello rentabilidades esperadas como media aritmética y desviación típica como describimos en el marco teórico. Así, maximizan los retornos como Markowitz en la Modern Portfolio Theory:

$$\text{Max } E(R)$$

$$\text{Donde } \sum_{i=1, n} X_i = 1$$

Y para la clasificación de activos y objetivo de maximización utilizan el Ratio de Sharpe, como medida de rentabilidad por exceso de la rentabilidad libre de riesgo por unidad de riesgo en la cartera:

$$\text{Ratio de Sharpe} = (E(R) - R_f) / \text{Desviación típica}$$

Este estudio es comparable por enfoque y metodología al que utilizamos en la presente tesis. Las conclusiones son similares, debido a que focalizamos el mayor riesgo existente (medido por la desviación típica de los retornos y destacan los autores el elevado nivel de curtosis de algunas criptomonedas) y rentabilidad de las criptomonedas pero validan en sus conclusiones que las criptomonedas, en una cartera existente con diferentes clases de activos,

incrementa los retornos potenciales de la cartera y mayores ratios de Sharpe con la inclusión de las criptomonedas (y aún mayores si se pudiera adoptar posiciones cortas).

Otras aproximaciones teóricas que se han utilizado son, por ejemplo, la metodología de gestión de carteras de Bayes-Stein que se basa en la idea de “shrinkage estimation” y computa la columna de vectores de retornos medios de la siguiente manera:

$\mu_{BS} = (1-g) \mu + g \mu_G$ donde g es el shrinkage factor

μ_G se refiere al retorno/rentabilidad esperada de la cartera de mínima varianza y T representa el horizonte temporal de inversión. Las estimaciones de este modelo se realizan igual que en el proceso de optimización (y con las mismas restricciones) que en el modelo media-varianza de Markowitz.

Repasando la literatura académica y científica existen otras metodologías de abordar la optimización de portfolios. Una alternativa para lidiar con los errores de estimación es mediante la metodología de Black-Litterman, la cual ha gozado de relevante aplicación tanto en el ámbito académico como financiero (Platanakis & Urquhart, 2020) . El modelo combina dos fuentes de información: las estimaciones de retornos por parte de los inversores (componente subjetivo) y el benchmark (o índice de referencia) que se utiliza para considerarlo como los retornos “neutrales” o “implícitos”.

Han existido asimismo doctorandos con ánimo investigador en el portfolio management con criptoactivos (Menor, Carmona, & Ramos, Las criptomonedas y su aporte a la diversificación de carteras, 2019) donde su enfoque metodológico y área investigadora es semejante a la planteada en el presente epígrafe. Dichos autores se focalizan en 6 criptomonedas y la bolsa de Estados Unidos, pero concluyen también que el ratio de Sharpe de las criptos y el S&P500 son similares y concuerdan que conviene incluir este nuevo asset class a una cartera “tradicional” de bolsa debido a que en su simulación de optimización las criptos mejoran el ratio de Sharpe de la cartera global.

Otros doctorandos compararon el Bitcoin y los commodities (Rincon Castro & Bareño Forero, 2018) con similitudes conceptuales, pero enfoque

diferenciado. Estos autores calculan el VaR (value at risk) de cada uno de los activos, rentabilidad requerida según el CAPM y rentabilidad y desviación de su muestra (únicamente utilizan como rango temporal el 2017) y concluyen que el nivel de riesgo es semejante y la rentabilidad del Bitcoin superior.

Existen asimismo relevantes aportaciones en revistas científicas con enfoque de optimización de portfolios con criptomonedas únicamente sin combinar carteras con otras clases de activos. Cabe mencionar de manera especial (Liu, 2019) donde utiliza los datos empíricos de las diez principales criptomonedas y realiza un formidable ejercicio sobre asset allocation con estas diez alternativas y demuestra como el ejercicio de la diversificación mejora en términos relativos los resultados de la inversión. No obstante, resulta curioso que ninguno de los modelos clásicos de la optimización de portfolios consigue batir en su estudio en términos relativos (utiliza también el Sharpe ratio) la “naive diversification” (1/N) donde se invierte proporcionalmente en un número de securities o clases de activos sin realizar complejos ejercicios de matemáticas (en nuestro propio estudio sobre los ratios relativos de las criptomonedas realizo una media aritmética simple sobre las rentabilidades de las 100 criptomonedas). La naive diversification es estudiada como un sesgo psicológico de los inversores (la disciplina de la behavioural finance) donde se analiza las trampas psicológicas que nos separan de los axiomas de los inversores racionales de la modern portfolio theory de Markowitz. Es cierto que los inversores en la práctica raramente utilizan complejos modelos de asset allocation.

Hemos encontrado, tras la exhaustiva revisión, pocos documentos científicos, focalizados en mostrar el actual estado o coyuntura de lo que representa el Bitcoin en el fenómeno económico denominado cuarta revolución industrial o industria 4.0 como el documento reciente (Li, Naqvi, Rizvi, & Chang, 2021) donde, aunque encauzan el estudio en la optimización de carteras con el Bitcoin, sitúan a la criptomoneda en la actual coyuntura de implantación tecnológica pero señalizando las amenazas que representan para el crecimiento económico, estabilidad del sistema financiero y bienestar social general. No obstante, considerando únicamente el binomio rentabilidad-riesgo, destacan el potencial del Bitcoin de mejorar el perfil del inversor y trasladar paralelamente hacia arriba (shift) la frontera eficiente, siempre que el inversor pueda entrar al mercado

adoptando posiciones cortas. El valor añadido del presente estudio al conocimiento científico sobre la materia es relativo al horizonte temporal, reside en el uso de una base de datos de una década, hecho que potencia la validez de las conclusiones al medio y largo plazo, lo cual no podía extrapolarse en estudios anteriores.

A medida que las criptomonedas se introduzcan y consoliden en la gestión de carteras (horizonte muy lejano en las carteras institucionales donde su presencia es casi inexistente) aparecerán índices de referencia o benchmarks. La introducción es mínima, pero existe, se ha anunciado la comercialización en España de un hedge fund basado en criptoactivos (Fundspeople, 2021). Se han hallado autores que han realizado incursiones en este campo (Elendner, Trimborn, Ong & Lee, 2018) donde realizan un estudio de los retornos del Bitcoin y altcoins (monedas alternativas al Bitcoin pero que utilizan el mismo código de software) y correlación entre ellas y otros activos. Presentan un detallado estudio de los mercados secundarios de cotización. Además, presentan el índice CRIX de criptomonedas (<https://thecrix.de/>), el cual es un índice de mercado que para su construcción sigue la metodología de Laspeyres, con 20 constituyentes y que sirve como Benchmark y fue desarrollado por la Universidad de Humboldt. Además, en el estudio presentan numerosos estadísticos sobre la elevada dispersión de las criptomonedas (sobre 10 activos en su muestra). Las conclusiones son apasionantes, como el carácter positivo de la media de los retornos y negatividad en la mediana, incluyendo VaR y Beta dentro de su metodología. Los altcoins, como demuestran, aportan valor en la diversificación de carteras por su reducida correlación incluso entre ellas mismas, lo cual es muy sorprendente y nada intuitivo y con el resto de los activos verifican la reducida correlación existente en las rentabilidades (su cesta de activos es distinta, incluyen oro, equities emergentes y real estate)

Tabla 1
Correlaciones entre criptomonedas

	BTC	ETH	XRP	LTC	DASH	MAID	DOGE	XEM	XMR	BTS
USD/EUR	-0.05	-0.04	0.04	-0.06	-0.01	-0.03	-0.06	-0.01	-0.05	-0.03
JPY/USD	0.02	-0.04	-0.03	-0.04	0.09	0.02	0.05	-0.05	0.02	0.06
USD/GBP	-0.06	-0.09	0.04	-0.09	-0.01	-0.01	-0.02	-0.17	-0.04	-0.03
Gold	0.05	0.04	0.04	0.05	-0.01	0.07	0.01	0.09	0.02	-0.01
SP500	0.00	-0.05	0.05	-0.05	0.02	0.00	0.01	-0.05	0.03	0.04
XWD	0.01	-0.03	0.02	-0.07	0.03	0.03	0.01	-0.07	0.05	0.07
EEM	0.00	-0.09	0.04	-0.09	0.00	-0.01	0.02	-0.04	0.02	0.04
REIT	0.03	-0.09	0.04	0.05	0.00	-0.03	0.01	0.05	-0.01	-0.05
DTB3	0.02	0.09	0.00	0.02	0.03	0.04	0.04	0.07	0.03	0.05
DGS10	-0.02	-0.08	0.00	-0.02	0.01	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01

Fuente: The cross-section of crypto-currencies as financial assets: An overview, 2016 (Universidad de Humboldt, Berlin).

Concluyen la utilidad de las criptomonedas para el *asset allocation* por la baja correlación intra criptos y vs. activos alternativos (aunque, al contrario que en la presente tesis, no realizan una optimización de carteras) pero documentan el efecto (al igual que en renta variable) del “*size effect*”, donde el incremento de la liquidez de mercado conlleva subidas en la valoración y consiguientes capitalizaciones de mercado (Elendner, Trimborn, Ong, & Lee, 2018).

La teoría clásica de Markowitz ha sido empleada en diversas investigaciones científicas recientes. Existe una tesis doctoral (Villamil Rodríguez & Martínez Bolaños, 2019) donde utilizan diferentes medidas de riesgo para construir carteras eficientes en el sentido de Markowitz con cryptoactivos (únicamente). Utilizan 18 criptomonedas y utilizan un modelo de optimización con una matriz de riesgo distinta por cada matriz de riesgo utilizada (desviación típica, LPM lower partial moment y behavioural sigma). El estudio es muy interesante debido a que utilizan estas medidas de riesgo derivado de la no-normalidad de la distribución de datos de las rentabilidades de las criptomonedas (como veremos en el estudio económico) y concluyen que la medida Behavioural Sigma es la más eficiente para la construcción de carteras de estos activos pues consiguen niveles de rentabilidad mayores que con las otras medidas de riesgo. Esta medida de riesgo corrige la distribución de los retornos por los componentes de sesgo y curtosis. Para el activo K se expresaría:

$$\sigma_{beh} = \sigma_k (1 - 2\sigma_k/3T \text{ skew} + 2\sigma_k^2/3T^2 \text{ kurtosis})$$

- σ_{beh} es la medida de riesgo comportamental para cada activo.
- σ_k se refiere a la desviación estándar que posee el activo en consideración.
- Skew representa el sesgo que posee la distribución de los retornos del activo k Kurtosis representa exceso de kurtosis que presenta la distribución de retornos del activo k.
- T es el parámetro que mide la aversión al riesgo del inversor, cuando crece el inversor tiene disposición al riesgo y cuando disminuye es averso al riesgo.

La investigación exploratoria, mediante metodología deductiva, sobre la capacidad de reducción de riesgo de las criptomonedas en las carteras de inversión, por su grado de correlación con otros activos, es una corriente frecuente en la investigación científica en el nicho económico financiero. La proliferación de activos financieros y corrientes considerando aspectos cualitativos junto al tradicional rentabilidad-riesgo (por ejemplo, el más notable actualmente el ESG-inversiones socialmente responsables, acrónimo inglés Environmental, Social and Governance) es una tendencia consolidada en el sector de inversiones durante los últimos años. Las deducciones obtenidas recientes (Huynh, Hille, & Nasir, 2020) aportan una clarificación en el contexto actual de la 4ª revolución industrial donde conjugan estos aspectos para optimizar carteras con la inteligencia artificial, bonos verdes y criptomonedas.

Estos autores examinan la interdependencia de las volatilidades con el análisis de la interdependencia de las colas de la distribución de las variables aleatorias (tail dependence), lo cual es verdaderamente útil porque variables aleatorias sin correlación aparente pueden exhibirla en desviaciones extremas. Y así es, en la muestra de los autores (2017-20) donde demuestran el riesgo de caídas conjuntas en tiempos de turbulencia económica. También introducen el horizonte temporal (mayor en shocks a corto plazo) y la serie temporal en el Bitcoin con relación a su volatilidad. En general, destacan la transmisión de volatilidad es alta en este conjunto de asset classes, por lo que esta cartera requiere de diversificación. El grado de correlación de una cesta de criptomonedas (6 en este caso) con la bolsa de Estados Unidos es objeto de estudio empírico analítico (Menor, Carmona, & Ramos, Las criptomonedas y su aporte a la diversificación de carteras, 2019) y su efecto en una cartera

concluyendo la similitud de los ratios de Sharpe de las criptos y el índice S&P500 pero conveniencia de dar entrada al nuevo actor debido a la mejora de una cartera global, cuantificado con el denominado ratio de Sharpe.

Similares conclusiones obtienen Emmanouil Platanakis y Andrew Urquhart (2020) en un paper ya referenciado anteriormente donde con varias metodologías de optimización concluyen que el Bitcoin aporta valor en términos relativos de rentabilidad y riesgo cuando es añadido a carteras de bonos y bolsa. Bitcoin tiene la mayor rentabilidad y riesgo, tiene skewness ` positivo (asimetría) y distribución leptocúrtica. En este estudio (Platanakis & Urquhart, 2020), con su base de datos (2011-2018) comprueban la aportación positiva del Bitcoin en términos de ratio de Sharpe, pero, sobre todo, en términos de ratio de Sortino gracias al reducido riesgo downside del Bitcoin.

La elevada volatilidad de los retornos de las criptomonedas es otra variable financiera objeto de comentarios frecuentes en la prensa financiera y de manera emergente y creciente, en el ámbito académico (Cuenca Díaz, 2021). Este parámetro es uno de los factores argumentales en contra de ser considerada una moneda (con relación al requisito de reserva de valor). En el hipotético caso que existiese un patrón que permita su previsión (y esta es una de las hipótesis de la tesis), parametrización o identificación de variables que permitan una modelización sería de un inmenso valor añadido para su inclusión en las carteras de inversión. El estudio económico de la presente tesis enfocado en la modelización de series temporales de retornos de las criptomonedas y la dependencia inter-temporal de la volatilidad tiene base científica por parte de otros autores. La base y primera piedra científica en el estudio sobre la previsión de la volatilidad del Bitcoin (Naimy & Hayek, 2018) basó su enfoque en la valoración y comparación de la capacidad predictiva de un modelo GARCH, un modelo EWMA (media móvil ponderado exponencial) y un EGARCH (modelo exponencial autorregresivo condicional heterocedástico), obteniendo este último un mejor resultado. Lo relevante de este artículo es que verificó por primera vez una preocupación de la comunidad financiera concerniente en un patrón distinto del Bitcoin con relación a las divisas tradicionales.

Similar enfoque y asimismo iniciador fue el estudio (Katsiampa, 2017) donde esta autora, utilizando una base de datos de precios de cierre diarios desde julio 2010 a octubre 2016, los retornos con rentabilidades logarítmicas y utilizando modelos GARCH para la varianza condicional, llega a conclusiones semejantes: ella se centra en el Bitcoin (la presente tesis en el universo de los cryptoactivos) pero anota la enorme rentabilidad de este asset class (retorno medio diario de 0,57% y desviación típica de 0,0617) pero coincidimos en nuestros estudios empíricos en el sesgo a la derecha de la distribución y comportamiento leptocúrtico, como veremos en el estudio económico. Concluyó entre diversos modelos que el óptimo para el estudio es el AR-CGARCH pero lo más importante es que resalta la enorme utilidad del Bitcoin en la gestión de riesgos y carteras, debido a las características únicas del activo, por lo que ofrece utilidad al universo de stakeholders. Siguiendo esta línea, mención especial merece el estudio reciente (Kochling, Schmidtke, & Posch, 2020) cuya aportación resulta excepcional como pilar de estudio. No son únicos, se han utilizado en muchos estudios modelos tipo GARCH (modelo autorregresivo que captura las agrupaciones de volatilidad de las rentabilidades a través de la varianza condicional). Dichos autores utilizan diversos proxies a la volatilidad, como la suma de los retornos intradiarios cuadráticos

$$VR \text{ (volatilidad realizada)} = \sum_{i=1, m} r_{i,t}^2$$

Otro estimador de la volatilidad fue introducido por (Andersen, T. Bollerslev, Diebold, & Ebens, 2001):

$$\text{MedRV} = \frac{\pi}{6 - 4\sqrt{3} + \pi} \left(\frac{m}{m-2} \right) \sum_{i=2}^{m-1} \text{median}(|r_{i-1,t}|, |r_{i,t}|, |r_{i+1,t}|)^2$$

el cual es utilizado en el artículo científico mencionado de 2020. Para la evaluación del performance de las previsiones de la volatilidad utilizan funciones de pérdidas en la optimización matemática, como el test MCS en test realizados in-sample period y out of sample para la verificación predictiva. Como ejemplo, (Liang, Zhang, Li, & Ma, 2020) donde utilizan el modelo GARCH-MIDAS (es un modelo GARCH propuesto por Engle y Rangel en 2008) para examinar el poder predictivo de cinco indicadores como el VIX (volatilidad del S&P500), GVZ (índice

de volatilidad del ETF del oro), Google Trends, GEPU (índice de incertidumbre de la política económica global) y el GPR (índice de riesgo geopolítico), donde concluyen que el índice GVZ contiene la mejor información para la optimización del poder predictivo de la volatilidad del Bitcoin. La metodología que se empleará en el trabajo presente, en relación con la parte económica, se sustenta en una revisión y previsión del precio del Bitcoin, para así relacionarlo con la variable exógena del volumen. La intención y propósito capital es la verificación si la serie temporal es estacionaria (y tratarlo a través de un modelo ARMA) con la metodología Box y Jenkins y trabajando la predictibilidad de la volatilidad de su residuo a través de un modelo ARCH o GARCH, que es el enfoque más utilizado en la comunidad científica. Por otro lado, el fin es avanzar en el conocimiento científico (con esta base) con diferentes arquitecturas de redes neuronales LSTM.

Aunque aún en fase inicial, la comunidad científica intenta explorar todos los aspectos que permitan la completa descripción de las criptomonedas. Por ejemplo, tomando en este caso el Bitcoin debido a su carácter como criptomoneda más consolidada y con mayor recorrido para su análisis empírico, un estudio (Urquhart, 2017) donde analiza el efecto (común en los mercados financieros) del “*Price clustering*” en el bitcoin, que se refiere a la no distribución uniforme de los precios que debería darse si no existiesen fricciones o sesgos en el mercado. El fenómeno reconoce (y se muestra reconocida en la literatura financiera y académica) que los precios observados de cotización se concentran alrededor de determinados valores, en ocasiones redondeados. Es decir, que empíricamente se demuestran que existen cotizaciones que actúan como imán.

El *clustering* sucede por diversidad de factores: sesgos humanos, atracción de diversos números, factores culturales, colusión entre creadores de mercado o diferencias entre estructuras de mercado. El autor, siguiendo la metodología de Dowling (Dowling, Cummins, & Lucey, 2016), que estudió la existencia de barreras psicológicas en los precios de la energía, estudió la existencia de price clustering en vez de las barreras psicológicas. Con una muestra de 5 años en los precios de cotización (datos diarios desde 1 de mayo de 2012-30 de abril de 2017) concluye, en el primer estudio sobre este fenómeno en el Bitcoin (tras muchos estudios en otros mercados financieros), que existe

evidencia de price clustering alrededor de números redondos, con más del 10% de las cotizaciones con precios de dígitos de decimales 00. No obstante, fuera de los números redondos, no se refleja una previsión de cotización para una estrategia de inversión para realizar una modelización. Siguiendo esta línea, el clustering en Bitcoin sigue la hipótesis de cotización y trading de Harris de 1991 ya que el clustering de precios está correlacionado con el precio (y su variación) y volúmenes de cotización.

El Bitcoin sirve como objeto de análisis en el estudio de comprobación científica del supuesto carácter de “burbuja” (como se define con frecuencia en la prensa financiera) en la cotización de éste. Publicado por la Universidad de Sheffield, (Cheah & Fry, 2015), concluyen que el Bitcoin tiene componente especulativo de burbuja y que su valor fundamental o intrínseco es cero. Con un universo muestral de precios de cierre diarios del Bitcoin Coindesk Index desde julio 2010 a julio 2014 nos aporta interesantes conclusiones. En primer lugar, dado que el 70% de los Bitcoins se encuentran en cuentas durmientes afirma que el Bitcoin se comporta más como un activo financiero que como una divisa. El principal atractivo del Bitcoin es ser objeto de especulación y no un medio de intercambio. Las burbujas financieras pueden ser racionales (expectativas self-fulfilling, incorrecta valoración de fundamentales, consideración de variables exógenas en los modelos) o irracionales (conducidas por variables psicológicas). Estos autores, con su estudio matemático concluyen la existencia de burbujas según su definición, rechazan la hipótesis nula (random walk o camino aleatorio) y la hipótesis alternativa es una burbuja “explosiva” y durante las subidas el retorno es tan explosivo que su valor fundamental a largo plazo no es estadísticamente distinto de cero. En efecto, el valor intrínseco es cero y sin fundamentales macroeconómicos para la determinación de su precio. En este caso, cabe preguntarse cuáles son los drivers en la formación del precio del Bitcoin. La demanda está guiada por su valor como medio de cambio y la oferta por los Bitcoins en circulación. En este sentido, existe un paper (Ciaian, Rajcaniova, & Kancs, 2016) que estudia el impacto oferta-demanda en la formación del precio por el modelo de Barro de 1979 originalmente diseñado para el oro. La ecuación de equilibrio sería:

$$P^B = PY/VB$$

Esta fórmula indica que el precio del Bitcoin será directamente proporcional al nivel general de precios de los bienes y servicios (P), el tamaño de la economía Bitcoin (Y) e inversamente proporcional a la velocidad de circulación del Bitcoin (V) y el stock de Bitcoins en circulación (B). El autor destaca brillantemente los riesgos que pueden afectar al Bitcoin, como la incertidumbre del propio sistema, la posibilidad de ser objeto de ciberataques y los costes de atracción y búsqueda de información. En este sentido, los autores, con la base de datos diarios durante el periodo 2009-14, desarrollan 4 modelos econométricos del precio del Bitcoin y las interacciones oferta/demanda y concluyen con su metodología VAR que los fundamentales (como de cualquier divisa) inciden e impactan significativamente en la formación de precio. En segundo lugar, no pueden rechazar la hipótesis que el factor especulativo afecta al precio.

Por tanto, se ha indagado entorno al inmenso interés que el nuevo actor en el sistema económico ha despertado entre la comunidad científica y académica. En la evidencia empírica se destacan autores que intentan abarcar la mayor parte de las áreas objeto de análisis (modelización de precios y volatilidades, drivers, correlaciones) con las aproximaciones clásicas que se utilizaron para otros activos. Los estudios presentados resultan muy interesantes y oportunos, no obstante, el terreno está aún por desarrollar, debido a que la mayor parte de los estudios se han basado en el Bitcoin especialmente y en la aproximación metodológica no se han empleado aún para la modelización técnicas de deep learning (sistemas de inteligencia artificial) para automatizar los análisis predictivos de los comportamientos de precios y volatilidades. La tesis intenta generar un valor añadido en este apartado, mediante la inclusión de mayor número de criptomonedas y aplicación de redes neuronales para procesar la información.

Situación de las criptomonedas en el mapa de activos objeto de inversión

La inversión en criptomonedas ha irrumpido con fuerza en el escenario económico y supone una revolución es el aspecto tecnológico y como divisa o activo financiero. La inversión en criptomonedas se populariza atraídos por las elevadas rentabilidades acumuladas en ciertos periodos a pesar de su elevada volatilidad (como en 2022, que acumula un fuerte retroceso) comentada ampliamente en la prensa financiera (Chaim & Laurini, 2018).

Existe mucha literatura financiera sobre la intención de los usuarios cuando intercambian sus divisas domésticas fiat por las digitales. Existen estudios empíricos (Glaser, Zimmermann, Haferkorn, Weber, & Siering, 2014) que detallan conclusiones que, principalmente, los inversores con escasa formación financiera no están interesados en la tecnología en su faceta como un sistema alternativo de transacciones, lo que desean es participar en las criptomonedas como un vehículo inversor. El cuestionamiento de la utilidad de las criptomonedas como procedimiento de intercambio (que ha despertado el interés de los reguladores) es la inmensa volatilidad que experimentan, lo cual lleva a pensar que se utiliza como una inversión especulativa. En 2012, el BCE dijo que “el Bitcoin debería ser considerado como un sistema de alto riesgo para sus participantes desde una perspectiva financiera. No es fácil valorar si el Bitcoin es un esquema Ponzi (BCE, 2012)”. China, en 2013, anunció la prohibición del Bitcoin como divisa para las instituciones financieras. (Ruwitich & Sweeney, 2013).

Por tanto, es ampliamente comentada la rentabilidad y el riesgo de mercado (medida por la volatilidad, es decir, la desviación típica de las rentabilidades) de este nuevo asset class. El análisis financiero y las medidas de performance en la gestión de carteras han evolucionado durante los últimos años. Actualmente, la medida de performance o comportamiento de un fondo de inversión o activo financiero se mide en términos relativos de rentabilidad por unidad de riesgo. Es decir, se considera el binomio rentabilidad-riesgo y no únicamente la rentabilidad (ya sea bruta o neta de comisiones, nominal o real o antes o después de impuestos) como hasta hace unos años.

Es relevante situar a las criptomonedas en el escenario de las inversiones, cuál es su verdadero perfil para tener una base empírica significativa para su consideración en la política de inversión de los diferentes vehículos. A pesar de la actualidad y fuerte irrupción de las criptomonedas y comentarios de la fuerte volatilidad de estas, no existe estudio que analice el perfil del binomio rentabilidad-riesgo de las mismas y realice una contrastación empírica con los activos financieros tradicionales. Nuestra intención es la utilización de la metodología científico empírico-analítica para obtener una conclusión y poder definir este nuevo asset class. Se ha recogido una muestra que se considera

apropiada para, a partir de la observación de la misma, establecer deducciones. El método empírico analítico es valorado por su rigor y por su objetividad en tanto que está basado en datos que son contrastables (Lopera Echavarría, Ramírez Gómez, Zuluaga Aristazábal, & Ortiz Vanegas, 2010).

La hipótesis general o teórica de trabajo es: ¿aportan valor las criptomonedas a la formación de algunas carteras de inversión?

Lo que queremos analizar y aportar a la literatura académica financiera es situar el nuevo asset class “Crypto” como alternativa de inversión y establecer la hipótesis si aporta valor (o no) a una cartera de inversión de activos financieros tradicionales. La relevancia de la investigación es elevada, derivado de la modernización, desintermediación financiera y Fintech se amplía el abanico de activos financieros invertibles y es relevante conocer su perfil para la optimización de carteras y la asignación de activos estratégica.

Materiales y métodos

Para dar respuesta a la hipótesis, realizamos un estudio empírico y la observación y experimentación la realizamos con las siguientes observaciones:

Para la realización del estudio, hemos obtenido datos diarios durante más de 9 años (enero 2013-agosto 2022) de las cotizaciones de:

- Bitcoin con relación al USD. Base de datos obtenida de Bloomberg
- Los 500 valores del índice de renta variable S&P500. Base de datos obtenida de Bloomberg www.bloomberg.com.
- 20 tipos de cambio de divisas tradicionales, siempre relacionadas al dólar como moneda precio. De esta manera, estudiaremos 20 divisas tradicionales obteniendo su rentabilidad y desviación típica de las divisas tradicionales. Base de datos obtenida de Bloomberg www.bloomberg.com.
- Renta fija: hemos cogido el futuro del bono con maturity a 2 y 10 años de Alemania y Estados Unidos. Base de datos obtenida de Bloomberg www.bloomberg.com.
- 50 valores del índice de renta variable del Eurostoxx 50. Base de datos obtenida de Bloomberg www.bloomberg.com.

Así, tenemos los siguientes *asset classes* o clases de activos:

- Criptomoneda Bitcoin
- Bolsa USA (Renta variable de Estados Unidos)
- Bolsa Europea (Renta variable de la eurozona, debido a que utilizamos un índice con valores denominados en euros)
- Divisas tradicionales
- Renta fija

Para la significatividad de la muestra, los activos objeto de análisis han sobrepasado los 2.500 datos, completando el periodo temporal elegido. Por tanto, consideramos la muestra significativa para la estadística inferencial y obtener conclusiones. El tamaño muestral es de elevada importancia en cualquier investigación. Marrugat y otros, sostiene que la estimación del tamaño muestral puede considerarse un instrumento del que dispone el investigador para evaluar la factibilidad y la necesidad de recursos de su proyecto (Marrugat, Vila, Pavesi, & Sanz, 1998).

La mayor parte de los libros de estadística ofrecen una o dos opciones para el cálculo del tamaño muestral representativo para el análisis científico cuantitativo. Es decir, aquella que realizará análisis inferenciales en base a los datos recopilados.

La fórmula para calcular el tamaño de la muestra cuando se desconoce el tamaño de la población (la población no es infinita, sobre todo en las criptomonedas por el tiempo de cotización, pero cotizarán “eternamente”) es el siguiente:

$$N_{opt} = (Z^2 \times p \times q) / d^2$$

Z= nivel de confianza

P= probabilidad de éxito

Q= probabilidad de fracaso

d² = precisión

Realizamos Z=1,96 (confianza del 95%), utilizamos un criterio conservador mediante p=q=0,5 y precisión del 3% (d):

En este caso, $n_{opt} = 1068 = 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5 / 0,03^2$

Con objeto de detallar el rigor científico detrás del análisis es adecuado realizar una descripción del proceso de tratamiento de datos para la estadística descriptiva. Además de facilitar y posibilitar la ordenación y comparación de los datos, permite conocer los parámetros y el perfil de las muestras con las que se ha trabajado para obtener conclusiones. En un primer análisis, se presenta la dificultad que, mientras que los activos financieros denominados tradicionales (renta variable, fija, divisas fiat) cotizan entre semana (de lunes a viernes), las criptomonedas cotizan los fines de semana también (sábados y domingos). Esta casuística ha obligado a un tratamiento de los datos y procesarlos separadamente y proceder a eliminar la cotización de los sábados y domingos de los activos tradicionales porque otorgan mayor ponderación al dato del viernes (sábado y domingo la cotización oficial es el cierre del viernes, último dato cruzado y último cierre).

Esta circunstancia de contar con sábados y domingos en la data set o base de datos y que estos días supongan sesiones reales para las criptomonedas nos ha obligado a un reprocesamiento de los datos desde el principio. Para ello, se ha separado los datos entre criptomonedas y resto de activos, y con posterioridad se han repetido todos los cálculos en separado con objeto de unificar los resultados al final del proceso.

Un hecho relevante consecuencia de este recálculo reside en la modificación de la base para el cálculo de la desviación típica anualizada para las criptomonedas y resto de activos. En concreto, las fórmulas utilizadas han sido las siguientes:

- Desviación típica anualizada (cripto)= desviación típica diaria* $365^{1/2}$
- Desviación típica anualizada (resto)= desviación típica diaria* $252^{1/2}$

Aprovechando el procesamiento de los datos, resulta interesante estudiar en la serie temporal la existencia o no de una estacionalidad en las rentabilidades. Se plantea la siguiente hipótesis:

¿Tendrán las criptomonedas más rentabilidad durante los fines de semana?

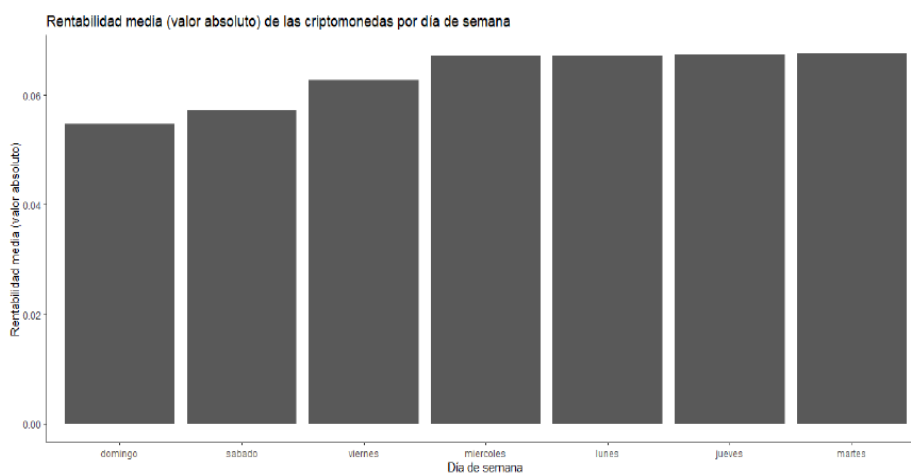
La relevancia de la investigación es importante. En caso de descubrir un patrón de comportamiento estacional de las rentabilidades intradiarias, los alphas (o diferencias de rentabilidad con relación a los índices de referencia o benchmark) en la gestión de carteras pueden ser muy relevantes, considerando la elevada volatilidad del activo de referencia. La idea del estudio surgió considerando la elevada cantidad de traders no profesionales (lo cual es relevante a nivel del behavioural finance) operando en estos mercados y el mayor tiempo disponible durante los fines de semana.

El resultado del análisis fue el siguiente:

Gráfico 8

Rentabilidad media (valor absoluto) de las criptomonedas por día de semana.

El resultado de este análisis es el siguiente:



Elaboración propia

La hipótesis resultó ser falsa. Los resultados fueron contrarios a los esperados. La rentabilidad media (en valor absoluto) de los fines de semana es algo inferior con relación a los días laborables.

Marco metodológico

Para la obtención de conclusiones para clases de activos, “asset classes” o familias de activos, obtenemos perfil de rentabilidad-riesgo de activos teóricos mediante el cálculo:

- *Activo Criptomoneda:* rentabilidades diarias de las cotizaciones de mercado del Bitcoin

- *Activo financiero renta variable de Estados Unidos*: media aritmética de las rentabilidades diarias de los 500 valores del índice S&P500.
- *Activo financiero renta variable europea*: media aritmética de las rentabilidades diarias de los 50 valores componentes del índice Euro Stoxx50 durante el periodo de referencia.
- *Activo financiero “FX tradicional”*: media aritmética de las rentabilidades (todas ellas en términos de dólares USA) efectivas de las 20 divisas tradicionales fiat analizadas.
- *Activo financiero “renta fija europea”*: media aritmética de las rentabilidades diarias del futuro del bono alemán a 2 y 10 años.
- *Activo financiero “renta fija de Estados Unidos”*: media aritmética de las rentabilidades diarias del futuro del bono de Estados Unidos a 2 y 10 años.

El sistema de análisis de la base de datos es el siguiente:

El proceso de tratamiento cuantitativo de los datos es complejo derivado de la elevada cantidad de información. Obtuvimos la descarga de datos en Excel y para la cuantificación por clases de activos de las rentabilidades diarias, rentabilidades medias totales por clases o familias de activos, rentabilidad media anualizada, desviación típica total media, semidesviación típica y desviación típica media anualizada hemos utilizado el lenguaje de programación R. R es un entorno de software y lenguaje de programación comúnmente utilizado en computación estadística y gráfica, ya que dispone de una amplia variedad de técnicas estadísticas (modelos lineales y no lineales, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series temporales, clasificación, agrupamiento, etc.) y gráficas. Funciona en plataformas UNIX y sistemas similares (incluidos FreeBSD y Linux), Windows y MacOS.

Para el cálculo de la semidesviación típica (para su input en el ratio de Sortino) se ha utilizado el paquete de R PerformanceAnalytics en su versión 0.9.9-5. Se ha tomado como input para el cálculo la tabla de rentabilidades diarias de los activos (entendidas como variaciones diarias de su cotización) y se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$\text{Semidesviación Típica} = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^n (x_s - \text{MAR})^2}{n}}$$

Con objeto de aclarar la metodología de la semidesviación típica y su aplicación, especifico que en el tratamiento de los datos realizamos un filtro las rentabilidades diarias cuando ésta fue negativa. Posteriormente, para la contabilización de n, contamos el número de sesiones con rentabilidad negativa y posteriormente su cálculo cuadrático. La razón de ello es la significación de la semidesviación típica. La ratio de Sortino que utilizamos hace uso del concepto de volatilidad dañina o también denominada downside risk. Utiliza como medida de ajuste del riesgo únicamente la desviación estándar generada por los rendimientos negativos de la cartera. Es decir, separa la volatilidad “buena” y “mala”, al contrario que la ratio de Sharpe que contabiliza la totalidad de la dispersión respecto a la media.

Donde:

S: sesión estudiada

Xs: rentabilidad del activo en la sesión estudiada.

MAR: minimum acceptable return. Ganancia exigida al activo y que se reduce de todos los valores para estudiar su variabilidad una vez descontada (recomendación del mismo Sharpe). Suele utilizarse la media histórica o cero, y esto segundo es lo que se ha utilizado. Es decir, MAR = 0.

N: Número de sesiones estudiadas para cada activo en cada caso. A estos efectos es importante destacar que puede utilizarse el total de sesiones del activo o solo las que superan al MAR. Por considerarlo más coherente de cara al cálculo, se ha utilizado el subconjunto de sesiones que superan este umbral.

El objeto de la semidesviación típica es la medición de la dispersión de aquellas observaciones que son inferiores al valor esperado de la variable. El objetivo es controlar los resultados que por defecto son inferiores al valor esperado. En otras palabras, la semidesviación standard nos busca los peores casos (situaciones donde las observaciones están por debajo de la media) y se pueden construir indicadores de riesgo, del inglés, downside risk metrics (ratio

de Sortino). En este caso, las rentabilidades inferiores al valor esperado las consideramos negativas y las rentabilidades superiores al valor esperado las consideramos positivas para nuestra inversión. Es decir, la ratio de Sortino únicamente considera la volatilidad “mala”.

Resultados

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Tabla 2
Estadísticas de los activos financieros

Asset class	Nº sesiones	Rentabilidad Total	Rentabilidad Anualizada	Desviación típica Anualizada	Semi Desviación Típica Anualizada	Ratio de Sharpe	Ratio de Sortino
<i>Criptomoneda</i>	2.504	178.712,54%	197,91%	104,91%	97,38%	1,89	2,03
<i>Bolsa EEUU</i>	2.505	187,15%	16,61%	16,95%	18,52%	0,98	0,90
<i>Bolsa europea</i>	2.505	38,29%	4,84%	19,32%	20,65%	0,25	0,23
<i>Renta fija Europa</i>	2.505	4,06%	0,57%	3,35%	3,74%	0,17	0,15
<i>Renta fija EEUU</i>	2.505	-7,06%	-1,06%	2,98%	3,21%	-0,36	-0,33
<i>Divisa tradicional</i>	2.505	-30,49%	-5,97%	8,90%	9,04%	-0,67	-0,66

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, las criptomonedas han sido, con sensible diferencia, el activo financiero más rentable. La tabla anterior está ordenada por rentabilidad media en términos anuales. La criptomoneda ha ofrecido una rentabilidad anual 11,9x superior al siguiente activo más rentable, la bolsa americana. Dato especialmente significativo, debido a que la bolsa americana experimenta desde marzo 2009 la tendencia alcista y ciclo bullish más alto de la historia.

Gráfico 9

Indice de renta variable S&P500



Fuente: Reuters. Gráfico del S&P500 desde 1976 hasta agosto 2022

Muy importante, si se compara el performance en términos relativos al riesgo incurrido para la obtención de la rentabilidad, tanto obteniendo la rentabilidad relativa al riesgo total o con la semidesviación típica, el Bitcoin es el mejor activo en términos relativos.

En términos relativos durante el periodo de referencia el *asset class* o clase de activo con mejor binomio rentabilidad-riesgo (riesgo total, como considera el ratio de Sharpe) fue el Bitcoin. Dato significativo. Recordemos que como consecuencia del QE (quantitative easing) y el programa de compras de activos de los bancos centrales los yields de los bonos europeos y americanos han alcanzado valores mínimos durante el periodo (incluso con TIRes negativas en muchos países y tramos de la curva) y el precio de los mismos en máximos. A largo plazo, en términos absolutos y relativos al riesgo, las bolsas es mejor inversión que los bonos (renta fija).

En el análisis anterior no se obtienen conclusiones muy divergentes comparando el ratio de Sharpe y el ratio de Sortino.

La desviación estándar de una cartera es una medida de dispersión alrededor de la media de los retornos obtenidos para esa cartera y su expresión

matemática se expresa en el marco teórico. El factor $1/n$, corresponde a la dispersión sobre una población. En caso de que esté trabajando sobre una muestra, habría que aplicar la corrección de Bessel y utilizar $1/(n-1)$. Sin embargo, como explica Sharpe, al medir fondos se puede utilizar la primera aproximación, ya que están igualmente afectados y no distorsiona el resultado de la comparación. Como *asset class*, la principal desventaja del Bitcoin es su elevada volatilidad.

Precio del futuro del bono alemán a 10 años (inverso a la rentabilidad). Fuerte tendencia alcista hasta 2022 con el punto de inflexión de los bancos centrales subiendo tipos de interés.

Gráfico 10

Futuro sobre el bono alemán a 10 años



Fuente: Bloomberg.

La gran desventaja de las criptomonedas como activo financiero es su elevada volatilidad (desviación típica de las rentabilidades). El Bitcoin es 5,4x veces más volátil anualmente que el siguiente *asset class* más volátil, la bolsa europea. De hecho, es su principal aspecto negativo para ser considerada una divisa, como argumentamos en el marco teórico de la tesis. Una moneda debe ofrecer seguridad para convertirse en moneda de reserva. Si el valor de una moneda puede depreciarse (por default del pago de la deuda, elevadas tasas de inflación, elevada volatilidad de su cotización) no ofrece seguridad para invertir

en ella. Es relevante la seguridad que ofrezca el emisor. La volatilidad de las criptomonedas es muy elevada y reduce significativamente la ratio de Sharpe.

Análisis estadístico de los valores extremos (outliers)

Debido al especial perfil estadístico de las criptomonedas, se plantea un tratamiento estadístico de los valores extremos. La teoría de valores extremos es una disciplina estadística cuyos avances son, en cierta medida, recientes. Esta técnica estadística se centra en el comportamiento estocástico de los valores extremos de un proceso. Lo que se pretende es cuantificar y tratar el comportamiento de los valores del proceso (rentabilidad y dispersión estadística mediante la desviación típica) siendo estos valores más extremos que los que normalmente se observan.

Este estudio lo hemos realizado modificando la base de datos anterior, obteniendo la rentabilidad de un activo teórico denominado “criptomoneda” calculando media aritmética de las rentabilidades diarias de las cotizaciones de mercado de 100 criptomonedas reales analizadas en este estudio (datos 2013-2022).

Estos valores anómalos o extremos son aquellos valores que toma la variable por encima o por debajo de un umbral. En la estadística descriptiva utilizamos la media y la varianza para la descripción de las distribuciones de variables, en la estadística de extremos utilizamos el índice de la cola (colas de la distribución por encima de un umbral) y el método de los excesos de umbral.

Así, al tratar la rentabilidad y desviación típica de nuestro activo criptomoneda (concepto nocional-teórico, es la media aritmética de 100 criptos reales) modificamos su función de distribución:

Sea X una variable aleatoria con distribución F y sea $u > 0$ un umbral fijado. Denotamos X_u los valores trasladados a 0 de la variable X que exceden un umbral u

$(X - u \mid X > u)$.

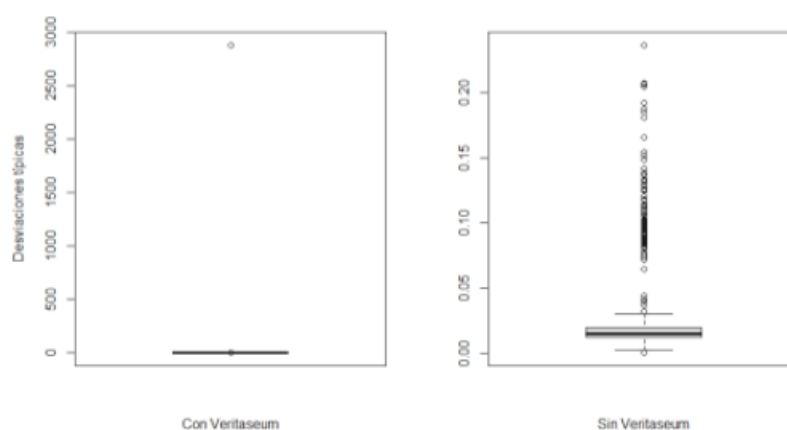
Y del mismo modo, dada una muestra $x = \{x_1, \dots, x_n\}$, denotaremos por x_u la muestra truncada en u y trasladada al 0,

$\{x_i - u \mid x_i > u\}$.

En nuestro caso, la criptomoneda Veritaseum es el único activo que supone un outlier y ocasiona una fuerte desviación de los estadísticos en los datos finales. A continuación, podemos ver el gráfico de cajas de las desviaciones típicas de cada activo antes y después de su exclusión de la muestra:

Gráfico 11

Gráficos de cajas (bloxplots) con análisis de outliers



Elaboración propia

Los bloxplots, o diagramas de caja (Flores & Flores, 2018), muestran la distribución cuartílica de las observaciones de una variable. La denominada “caja” recoge las observaciones situadas entre el cuartil 1 y el cuartil 3, es decir, el 50% de datos centrales de la muestra. A partir de ahí, los “bigotes” de la caja muestran, si los datos llegasen a ese punto, un límite superior e inferior equivalentes a 1,5 veces el rango de la propia caja. A partir de ahí suele considerarse que los datos normales son extremos o “outliers”, tal y como puede apreciarse en la imagen anterior con el punto de arriba, señalado como denominamos “atípico”.

En el gráfico de la izquierda muestra con claridad nítida una observación muestral diferenciada: Veritaseum. El eje y de ordenadas del gráfico muestra la unidad de medida de la variable estudiada. En este caso, la variable estudiada es la desviación típica de cada uno de los activos. De este modo, en el gráfico de la derecha anterior puede verse que el dato situado más arriba está por encima del 20%. Si lo buscamos en la tabla de resultados, es la criptomoneda Komodo. Veritaseum presenta una desviación típica del 30.000%, por lo cual

creemos podemos clasificarlo como dato no válido. Ese dato distorsiona el boxplot y no se aprecia la distribución por la escala del eje. Es muy representativo la observación que las criptomonedas se agrupan en un rango de desviación típica superior a la de los activos tradicionales, lo que debemos tener en cuenta en el asset allocation si consideramos las criptomonedas.

Tabla 3

Análisis desviación típica outliers

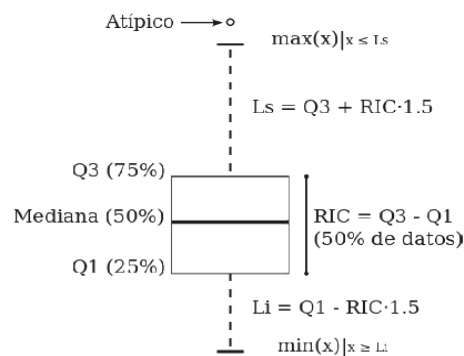
	A	B	K	Serr
1	Activo	Familia	DesvTip	
2	komodo	Criptomoneda	23,66%	
3	bytecoin	Criptomoneda	20,71%	
4	smartcash	Criptomoneda	20,68%	
5	bitcoin_sv	Criptomoneda	20,46%	
6	funfair	Criptomoneda	10,17%	

Fuente: elaboración propia

No obstante, se debe señalar que en distribuciones de datos lognormales o exponenciales, por ejemplo, es habitual encontrar datos que sobrepasan por mucho este umbral sin que por ello se trate de datos que deban catalogarse “atípicos”. La propia imagen de nuestros datos tras la eliminación de Veritaseum es un ejemplo de ello. Existen muestras de datos por encima del límite superior y por debajo del límite inferior, pero se aprecia con claridad que se trata de continuaciones de los rangos anteriores a estos límites.

Gráfico 12

Explicación de los bloxplots o diagramas de cajas



Fuente: elaboración propia

Estudio analítico de las variaciones de precio

Con objeto del conocimiento del perfil de rentabilidad de las criptomonedas (y en relativo a otras clases de activos que nos podamos plantear) creemos de enorme importancia el estudio de su función de distribución de las rentabilidades.

La función de distribución describe el comportamiento probabilístico de una variable aleatoria X asociada a un experimento aleatorio y se representa como $F(x)$ o F_x . En el caso de la distribución de rentabilidad de las criptomonedas puede considerarse continua:

Si X (en este caso, la distribución de rentabilidades de los distintos tipos de activos) es una variable aleatoria continua con función de densidad $f(x)$ se define la función de distribución $F(x)$, como:

$$F(x) = P[x \leq X] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx.$$

La función de distribución para una variable continua siempre verifica las siguientes propiedades:

A) $F(x) \geq 0$;

B) $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$

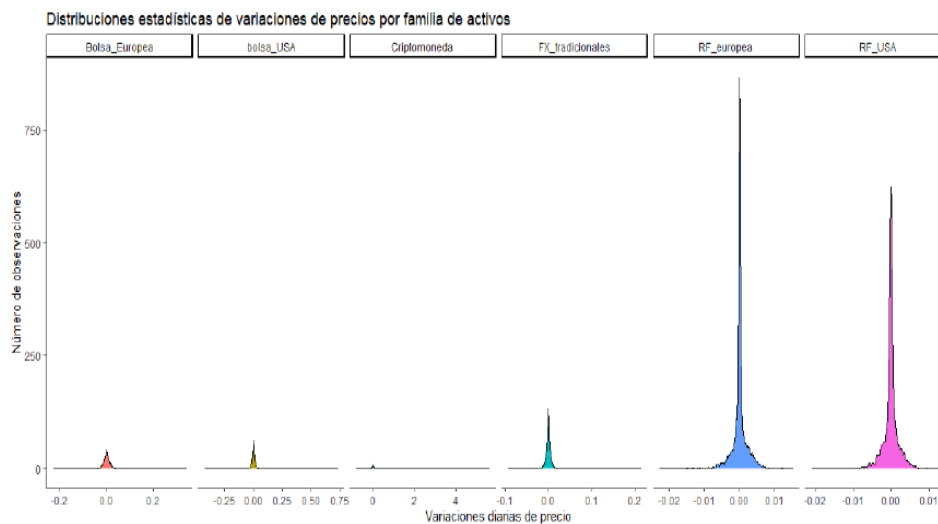
C) $P[a \leq x \leq b] = \int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a)$

D) $f(x) = F'(x) \Rightarrow$ la función de densidad es la derivada de la función de distribución.

En nuestro caso, con R, si estudiamos las distribuciones estadísticas que describen las variaciones diarias del precio de cada familia de activos, obtenemos el gráfico siguiente:

Gráfico 13

Distribuciones estadísticas de variaciones de precios por familia de activos



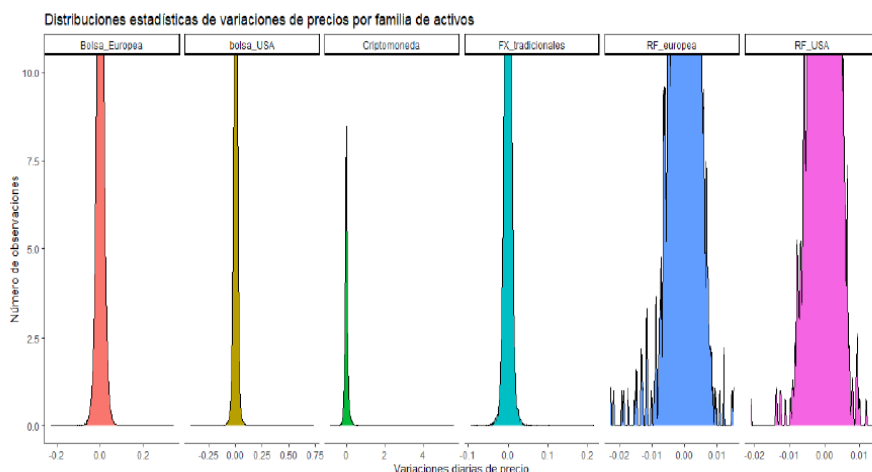
Elaboración propia.

Como se puede observar, la escala diverge significativamente dependiendo de cada tipo de activo. Resulta destacable la mayor concentración de las variaciones de renta fija en torno a valores cercanos a cero y la gran dispersión de las criptomonedas con notable sesgo hacia la derecha (grandes rentabilidades positivas). Son especialmente llamativas las diferencias en las escalas de los ejes x (abcisas) de cada gráfico.

Si centramos la escala del eje y del gráfico anterior en valores más próximos a los de las criptomonedas, observamos lo siguiente:

Gráfico 14

Distribuciones estadísticas de variaciones de precios por familia de activos



Fuente: elaboración propia

Comparativa gráfica de cada activo con una distribución normal:

La denominada distribución normal (Romero Saldaña, 2016) o gaussiana es de particular interés para trabajo estadístico y cuantitativo. Existen varias razones para ello.

- ✓ Multitud de fenómenos que podemos examinar en las ciencias exactas como las sociales se asemejan con frecuencia a la distribución normal.
- ✓ La distribución normal tiene diversas propiedades matemáticas que nos permiten realizar inferencia.
- ✓ Tests de significación de diferencia entre conjuntos de datos presumen que los datos del conjunto se asemejan o siguen una distribución normal.

La distribución normal es la más importante de todas las distribuciones de probabilidad. Es una distribución de variable continua con campo de variación desde $(-\infty, +\infty)$ que queda especificada a través de dos parámetros (media y desviación típica de la distribución), media m y desviación típica s y se designa como $N(m,s)$ y su función de densidad es la siguiente:

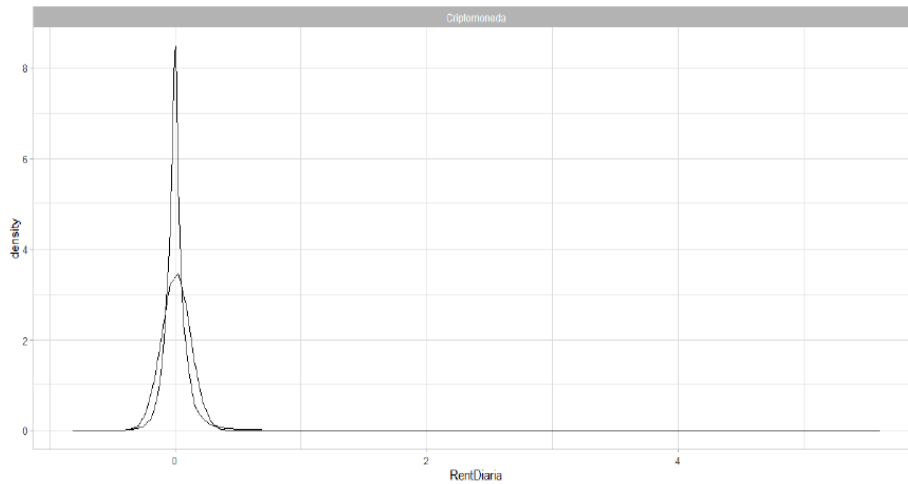
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

En nuestro caso, si comparamos la distribución de cada activo con una distribución normal de iguales media y desviación estándar, obtenemos los siguientes gráficos para cada familia de activos:

Criptomoneda:

Gráfico 15

Comparativa de la Distribución normal vs. Normal de Criptomonedas

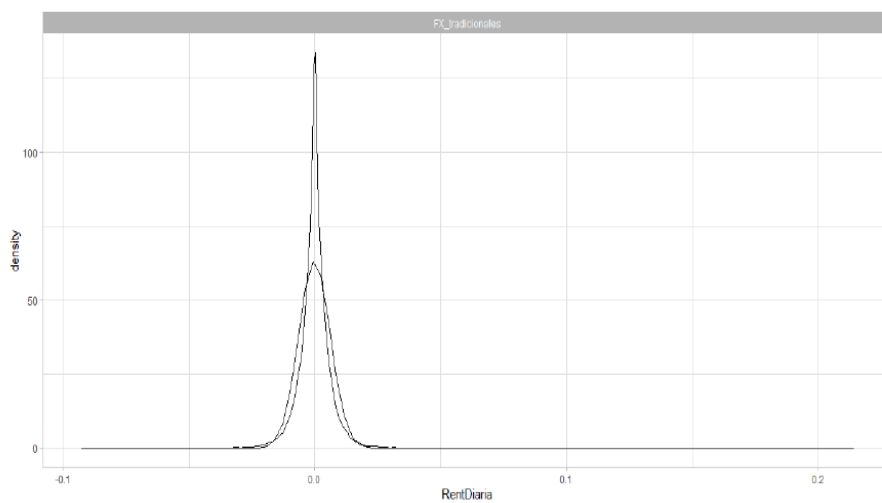


Elaboración propia

Divisas tradicionales:

Gráfico 16

Comparativa de la Distribución normal vs. Normal de Divisas Traicionales

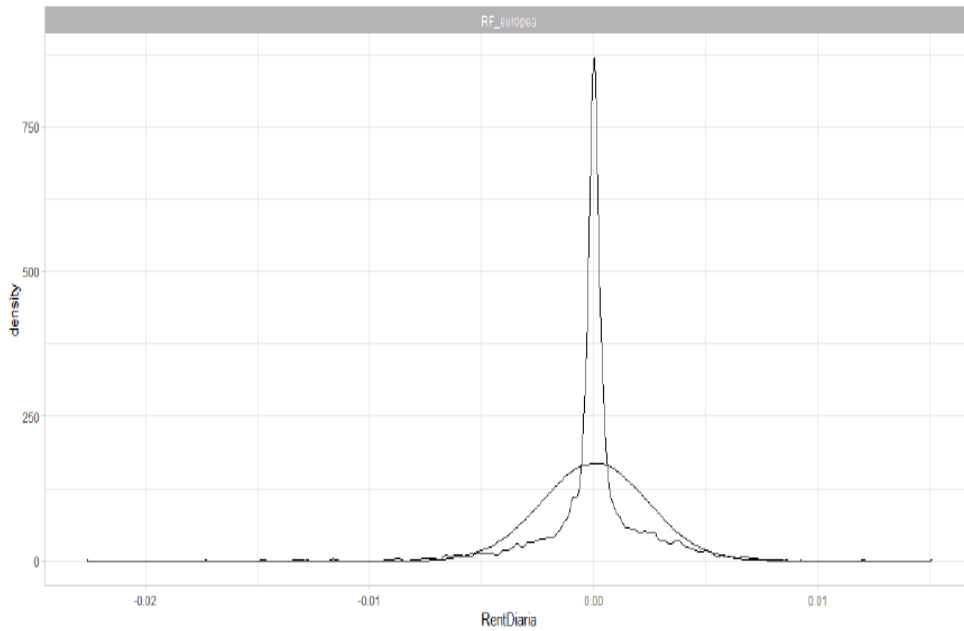


Elaboración propia

Renta fija europea:

Gráfico 17

Comparativa de la Distribución normal vs. Normal de Renta Fija Europea

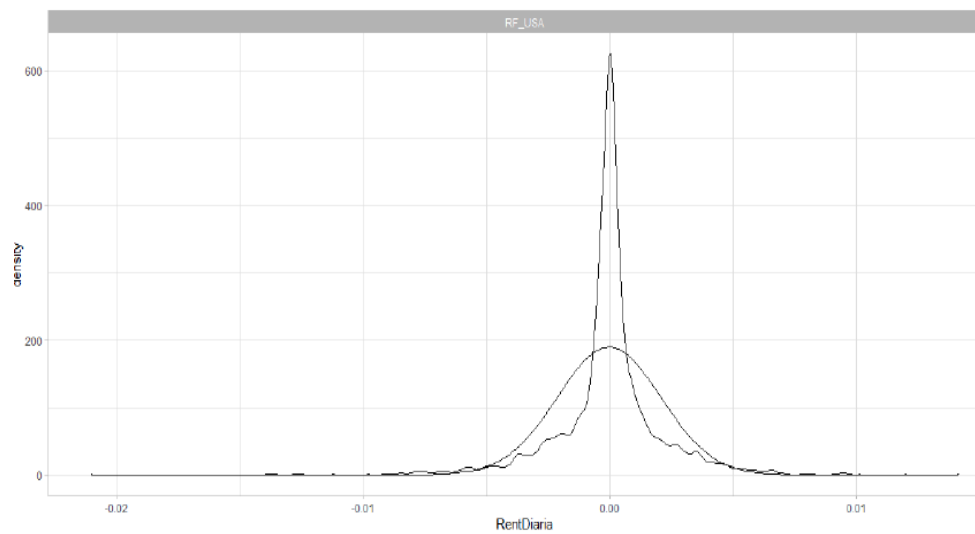


Elaboración propia

Renta fija americana:

Gráfico 18

Comparativa de la Distribución normal vs. Normal de Renta Fija Americana

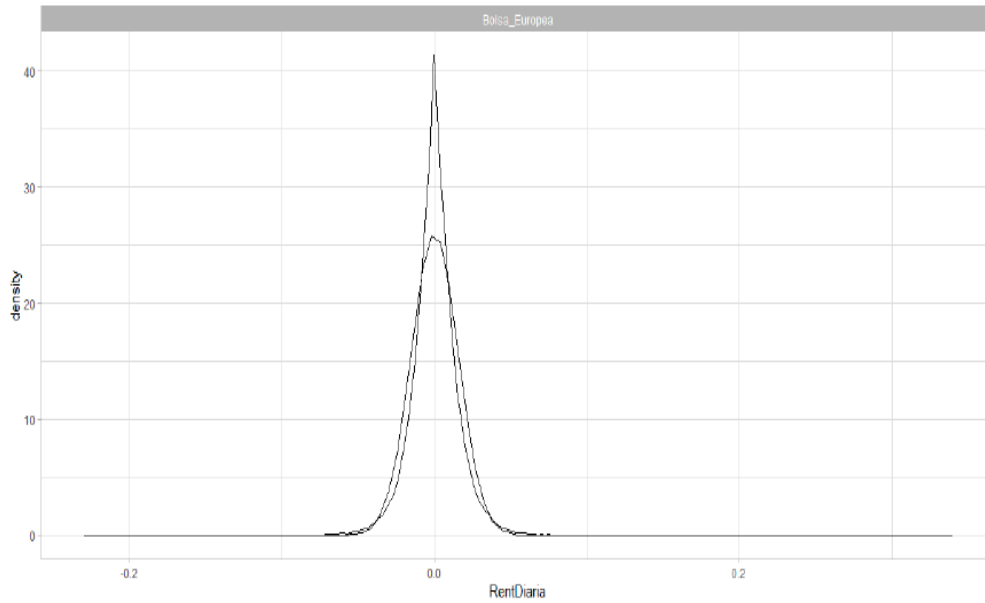


Elaboración propia

Bolsa europea:

Gráfico 19

Comparativa de la Distribución normal vs. Normal de la Bolsa Europea

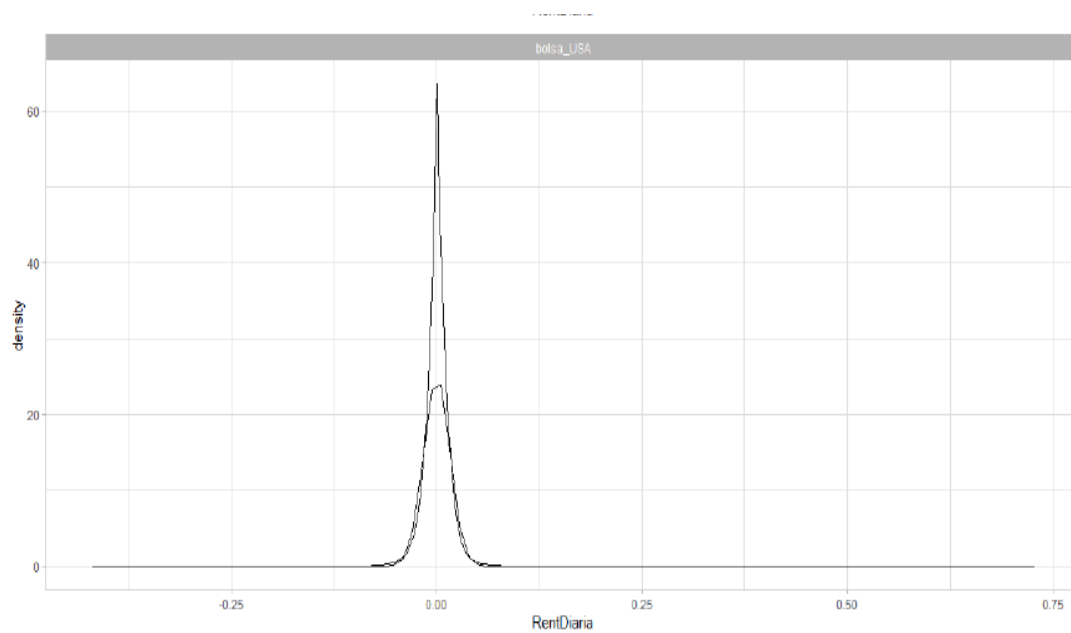


Elaboración propia

Bolsa americana:

Gráfico 20

Comparativa de la Distribución normal Vs. Normal de la Bolsa Americana



Análisis cuantitativo:

Desde un punto más cuantitativo, podemos analizar la asimetría y la curtosis de estos gráficos y realizar una comparación con lo que habría que esperar de una distribución normal.

Obtenemos lo siguiente:

Figura 2

Análisis asimetría y curtosis

Familia <fct>	Media <dbl>	Asimetría <dbl>	Curtosis <dbl>
Criptomoneda	0.00564	7.10	193.
FX_tradicionales	-0.000162	1.01	58.1
bolsa_USA	0.000460	0.280	33.9
Bolsa_Europea	0.000249	-0.124	13.0
RF_USA	-0.0000356	-0.577	11.8
RF_europea	0.0000471	-1.33	17.4

La asimetría es la medida que indica la simetría de la distribución de una variable respecto a la media aritmética. Los denominados coeficientes de asimetría indican si hay el mismo número de elementos a izquierda y derecha de la media.

Según su asimetría, existen tres tipos de curva de distribución: negativa (cola de la distribución sesgada a la izquierda de la media), positiva (cola sesgada a la derecha de la media) y distribuciones simétricas.

La curtosis o también denominada apuntamiento de la distribución es una medida de forma de la distribución (escarpada o achatada). Nos otorga una medida de la cantidad de datos que hay cercanos a la media. A mayor grado de curtosis, más apuntada será la forma de la curva.

La curtosis se mide mediante una promediación de la cuarta potencia de la diferencia entre cada elemento del conjunto y la media, dividido entre la desviación estándar elevado también a la cuarta potencia. Sea la variable $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, el coeficiente de curtosis será:

$$Curtosis = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{N \cdot S_x^4} - 3$$

siendo \bar{x} la media y S_x la desviación típica

3 es la curtosis de una distribución normal.

Las distribuciones pueden ser, según el signo de la curtosis:

- *Leptocúrtica*: la curtosis es >0 . Significa que existe concentración de datos alrededor de la media, y la forma de la curva será apuntada.
- *Mesocúrtica*: la curtosis = 0. La distribución es normal.
- *Platicúrtica*: curtosis <0 . Menor concentración de datos alrededor de la media, la dispersión de observaciones es mayor. La forma gráfica de la distribución será achatada.

Tras el análisis cuantitativo de los datos obtenidos de nuestras muestras de datos podemos concluir:

- *Las distribuciones son enormemente leptocúrticas, muy especialmente las criptomonedas.*
- *Las criptomonedas presentan una asimetría muy positiva. Es decir (como era fácil prever observando los gráficos), existen muchos más días con subidas que con bajadas de precios (si asumimos que la media de la distribución es cercana a 0).*
- *La bolsa europea y la renta fija presentan grados de asimetría negativa, lo que indica que la distribución se inclina o tiene sesgo hacia las rentabilidades negativas.*

Correlación entre activos

La principal ventaja de una cartera es la posibilidad de la diversificación, como comentamos en el marco teórico. El riesgo de una cartera (medido por la desviación típica) no es una media ponderada de los riesgos de los activos que la componen. Así, la varianza de una cartera p:

Variance of portfolio (2 stocks)

$$\sigma_p^2 = w_a^2 \sigma_a^2 + w_b^2 \sigma_b^2 + 2w_a w_b \sigma_{ab}$$

σ_p^2 = Variance of portfolio
 w_a = Weightage of stock a
 w_b = Weightage of stock b
 σ_a = Standard deviation of stock a and stock b
 σ_{ab} = Covariance of stock a and stock b

La teoría de la diversificación de carteras descansa en el componente de la covarianza, y este estadístico es primo hermano de la correlación, que no es más que la covarianza normalizada entre -1 y +1:

$$\rho_{kj} = \sigma_{kj} / \sigma_k \sigma_j$$

Donde:

σ_j : desviación típica del activo j

σ_k : desviación típica del activo k

σ_{kj} : covarianza entre los dos activos k y j

A menor correlación, mayor es el beneficio de la diversificación y bajará el riesgo global de la cartera. Por tanto, consideramos de enorme importancia conocer la correlación del Bitcoin con el resto de activos financieros:

Tabla 4

Matriz de correlaciones entre activos

	Bolsa EEUU	Bolsa europea	Criptomoneda	Divisa tradicional	Renta fija EU	Renta fija US
Bolsa EEUU	1,00	0,58	0,12	0,38	-0,15	-0,29
Bolsa europea	0,58	1,00	0,09	0,32	-0,18	-0,27
Criptomoneda	0,12	0,09	1,00	0,06	0,01	0,00
Divisa tradicional	0,38	0,32	0,06	1,00	-0,04	0,09
Renta fija EU	-0,15	-0,18	0,01	-0,04	1,00	0,64
Renta fija US	-0,29	-0,27	0,00	0,09	0,64	1,00

Elaboración propia.

Muy importante, empíricamente podemos afirmar que las rentabilidades de la criptomoneda Bitcoin son independientes, no tienen apenas correlación con el resto de activos financieros, lo que es de enorme importancia y pueden generar (y deberían) valor añadido en su inclusión en una cartera de inversión. Los resultados con la base de datos tienen buen sentido, debido a la correlación

positiva interna entre activos a ambos lados del atlántico y negativa entre distintos activos financieros.

Para comprobarlo, realicemos una optimización de la cartera en el sentido de Markowitz. Para ello, utilizo Excel (utilizando la función Solver):

- Utilizo como variable a maximizar el ratio rentabilidad riesgo de la cartera (medido por la rentabilidad esperada y desviación típica)
- Introduzco en Excel/Solver variables para maximizar dicho ratio las ponderaciones de cada activo, que nos dará el asset allocation estratégico para maximizar el ratio de Sharpe.
- Introduzco diversas restricciones en las ecuaciones:
- La suma del asset allocation sume 100%. Es decir, mantenemos toda la cartera invertida.
- Cada activo ponderará mínimo 0%, es decir, no introduzco la posibilidad de abrirnos cortos en un activo.
- El ratio de Sharpe de la cartera sea al menos como el ratio de Sharpe del activo con mejor ratio individual.
- No permito el apalancamiento, es decir, lo máximo que puedo invertir en un activo será el 100% de la cartera.

El resultado es muy positivo para las criptomonedas (media aritmética de 100 criptomonedas):

Tabla 5
Optimización de cartera

Activos	Rent anualizadas	Desviacion típica	Rent-Riesgo	Ponderación	Rentabilidad cartera
Bolsa_Europea	5,53%	23,98%	0,23	0,00%	0,00%
bolsa_USA	13,55%	24,42%	0,55	10,49%	1,42%
FX_tradicionales	-6,33%	9,04%	-0,70	0,00%	0,00%
RF_europea	1,64%	2,90%	0,57	89,04%	1,46%
RF_USA	-1,37%	2,76%	-0,50	0,00%	0,00%
Criptomoneda	63,84%	210,01%	0,30	0,47%	0,30%
				100,00%	3,18%
			Varianza cartera		0,12%
			Desviación típica cartera		3,50%
			Rent. Riesgo cartera		0,91

Elaboración propia

La optimización nos muestra una cartera con 3 activos: bolsa de Estados Unidos, renta fija europea y...*las criptomonedas*. Es cierto que la asignación es reducida (un 0,47%) en la composición de la cartera pero están incluidas. Con este asset allocation:

- Renta fija europea: 89,04%
- Renta variable de Estados Unidos: 10,49%
- *Criptomonedas: 0,47%*

Obtenemos una cartera que nos otorga una rentabilidad del 3,18% (es decir, en numerosas economías con rentabilidades reales positivas) y una desviación típica del 3,5%. Nos ofrece un ratio de Sharpe del 0,9.

Conclusiones:

- *La diversificación nos aporta un beneficio debido a que obtenemos un ratio de Sharpe muy superior a cualquier activo individual (0,91, muy superior a la renta fija europea con un 0,57).*
- *En el asset allocation o asignación estratégica incluimos únicamente 3 activos, entre los cuales están las criptomonedas, a pesar de su elevado riesgo individual y derivado de su reducida correlación con el resto de activos financieros.*
- *Por tanto, por el método científico y gracias al método empírico con nuestra base de datos podemos afirmar que las criptomonedas es un activo apto para la gestión de carteras y que debe incluirse en las carteras de inversión para maximizar nuestro capital financiero. A pesar de la elevada volatilidad individual de las criptomonedas, la volatilidad de la cartera será muy reducida.*

Utilizando la base de datos con el Bitcoin únicamente, debido a que el Bitcoin es el activo más rentable en términos absolutos y relativos al riesgo, la optimización nos daría una asignación completa al mismo (100% en el Bitcoin). Ello no es recomendable desde el punto de vista financiero y de la teoría de gestión de carteras para la mayor parte de los inversores. Obviamente dependería de su perfil de riesgo, pero en la mayor parte de los casos es recomendable una diversificación aunque nuestras expectativas sean muy positivas para un asset class en particular.

Tabla 6*Optimización de la cartera con Bitcoin*

Asset class	Rentabilidad Anualizada	Desviación típica Anualizada	Ratio de Sharpe	Ponderación	Rentabilidad cartera
Criptomoneda	197,91%	104,91%	1,89	100,00%	197,91%
Bolsa europea	4,84%	19,32%	0,25	0,00%	0,00%
Bolsa EEUU	16,61%	16,95%	0,98	0,00%	0,00%
Divisa tradicional	-5,97%	8,90%	-0,67	0,00%	0,00%
Renta fija Europa	0,57%	3,35%	0,17	0,00%	0,00%
Renta fija EEUU	-1,06%	2,98%	-0,36	0,00%	0,00%
				100,00%	197,91%
				Varianza cartera	110,06%
				Desviación típica cartera	104,91%
				Ratio Sharpe cartera	1,89

Elaboración propia

Aspectos psicológicos en las finanzas (behavioural finance)

Durante el transcurso del análisis económico se ha resaltado la inmensa volatilidad que experimentan las criptomonedas. Las criptomonedas, como nuevo *asset class* y uno de los actores principales en el fenómeno del Fintech, están sujetas a mucha publicidad agresiva que puede afectar al esquema de los inversores (principalmente, particulares no profesionales) en la formación de precios y, por tanto, en la toma de decisiones.

De hecho, el 9 de febrero de 2021, en un comunicado conjunto emitido por el Banco de España y la CNMV, advertían del elevado riesgo de las criptomonedas como inversión. En concreto, advertían:

“En los últimos meses, numerosas criptomonedas, entre ellas Bitcoin y Ether, han experimentado elevada volatilidad en sus precios, lo cual ha sido acompañado de un aumento significativo de la publicidad, en ocasiones agresiva, para atraer inversores.” Por tanto, esta publicidad puede afectar a la psicología de los inversores y afectar negativamente (decisiones no racionales) en su toma de decisiones.

El término “behavioural finance” es una dinámica de análisis y perspectiva del proceso de toma de decisiones de los inversores, la cual es diferente a la denominada perspectiva tradicional. La perspectiva de la teoría tradicional (traditional finance, que se basa en la economía neoclásica) se centra en cómo

los inversores deben comportarse. La teoría tradicional asume que los inversores son racionales, aversos al riesgo y se centran en maximizar su función de utilidad (en dicha función no suelen estar recogidos valores de carácter social). La función de utilidad recoge el nivel de satisfacción o placer que obtiene un individuo tras adquirir o consumir un bien o servicio. Estos individuos actuarán de acuerdo a los parámetros de los “hombres racionalmente económicos” (Rational economic men), lo cual nos conduce a mercados eficientes donde los precios de los activos financieros reflejan toda la información relevante y disponible. La teoría tradicional de las finanzas se centra en el análisis normativo y la determinación de la solución racional a un problema específico. Utiliza análisis de carácter prescriptivo para buscar herramientas prácticas y metodologías para encontrar estas soluciones racionales (Hens & Meier, 2016).

Por el contrario, la perspectiva de las finanzas que aplican los sesgos psicológicos que tenemos como seres humanos (disciplina del behavioural finance) es de carácter descriptivo, se focaliza en la descripción de cómo los individuos se comportan y toman decisiones. Esta disciplina se basa en conceptos de las finanzas tradicionales, psicología, economía adaptativa y neuroeconomía (Bermejo, 2014). La disciplina de la neuroeconomía se ha utilizado para examinar el fenómeno de la toma de decisiones bajo la incertidumbre, investigando cómo el cerebro humano reacciona a la toma de decisiones utilizando áreas cerebrales racionales y emocionales. La disciplina del behavioural finance aborda el supuesto que, la forma en que la información se presenta afecta al proceso de toma de decisiones, conllevando sesgos emocionales y cognitivos.

Los errores cerebrales de carácter cognitivo se refieren a carencia o incorrección en la información. Este sesgo nace con frecuencia por el intento del cerebro de simplificar el proceso del tratamiento de la información. Los sesgos emocionales nacen por la prioridad de las emociones humanas sobre el proceso puramente racional de la toma de decisiones. Emociones como alegría, euforia, miedo, odio o amor pueden resultar en un proceso de toma de decisiones divergente de un proceso frío, racional y carente totalmente de “sangre” y componente emocional humano.

Los seres humanos podemos actuar (o no) de una forma fría como puramente maximizadores de utilidad y aversos al riesgo. Sus decisiones pueden ser sub-óptimas desde el punto de vista racional y de la perspectiva de la teoría tradicional de las finanzas. Ello puede conducir a mercados que temporal o infinitamente se desvían de los mercados denominados eficientes.

La teoría psicológica-financiera denominada “behavioural finance” se suele subdividir en dos categorías: micro y macro. Micro behavioural finance se refiere a la descripción de los procesos de toma de decisiones de los particulares/individuos. Intenta explicar por qué los individuos se desvían de la teoría tradicional de las finanzas. Macro se centra en los mercados financieros, por qué se desvían de la eficiencia en términos de la teoría tradicional. En el estudio de la presente tesis, nos centramos en la micro debido a que la mayoría de los inversores en criptomonedas son particulares no profesionales, los cuales son especialmente proclives a sufrir sesgos psicológicos. Por ello, hemos considerado necesario la inclusión de este apartado en la tesis.

Por tanto, la teoría del behavioural finance no supone que los inversores sean siempre aversos al riesgo, que actúen siempre en su propio interés, o que dispongan de información perfecta. Según esta disciplina, los inversores actúan como “hombres económicamente racionales” pero en otras ocasiones su comportamiento se explica mejor por factores psicológicos (Statman, 2019).

Las desviaciones o distorsiones de un comportamiento racional pueden deberse a:

- Falta de información o imperfecciones en el proceso de toma de decisiones.
- Los inversores pueden no procesar toda la información que tengan disponible.
- Conflictos internos personales pueden llevar a inversores a priorizar objetivos cortoplacistas (habitualmente de gasto) frente objetivos largoplacistas (habitualmente ligados a ahorro-inversión).
- La mayor amenaza proviene de la carencia de la denominada “información perfecta”. ¿Cuántos inversores individuales pueden valorar y

cuantificar el efecto de un cambio del sesgo de la política monetaria en su patrimonio o capital financiero futuro?

- Estudios empíricos demuestran que los agentes económicos individuales no son perfectamente “self interested”, es decir, puramente maximizadores de utilidad. Actos de caridad y filantropía no existirían en un mundo perfectamente maximizador de utilidad.
- Las funciones de utilidad sobre el patrimonio pueden ser que no sean siempre cóncavas (me refiero a la función entre utilidad y patrimonio, si es cóncava supone o asume utilidad marginal de la riqueza decreciente) que supone la teoría de la utilidad, y los individuos en ocasiones pueden desarrollar patrones de buscadores de riesgo (risk seeking behaviour).

Veamos ejemplos prácticos de noticias relacionadas con la inversión en criptomonedas y cómo puede afectar o provocar sesgos psicológicos en los inversores:

- Noticia: “Bitcoin, por qué Tesla invirtió US\$1.500 millones en la criptomoneda (y cómo esto puede marcar su futuro)”. *BBC News Mundo*, 8 de febrero de 2021. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-55988372>

La noticia anterior apareció en prensa anunciando la decisión de uno de los más exitosos empresarios de la historia (Elon Musk). Cada día, un individuo medio toma entre 2.000 y 10.000 decisiones. Como es lógico, las personas nos vemos afectadas por la intuición, ideas prefijadas y emociones para adoptar nuestras decisiones. Todos estos sesgos afectan al proceso de toma de decisiones. La gran aportación del behavioural finance es que, para esta disciplina, los sesgos no son simplemente errores aleatorios sino que son sistemáticos y, por tanto, previsibles. La noticia anterior puede afectar al inversor de diversas maneras. Puede producir un error cognitivo (que puede incluir deficiencias técnicas de información, estadística o memoria; así como factores emocionales) denominado sesgo de confirmación (*confirmation bias*). Este sesgo se manifiesta cuando los participantes del mercado buscan nueva información o distorsionan la nueva información para dar soporte o mayor validez a sus ideas prefijadas. Un inversor, predispuesto a invertir en Bitcoin derivado de tratarse de un asset class de moda o popular puede sentirse respaldado por la

decisión de uno de los hombres más ricos del mundo de invertir en criptomonedas. La decisión de inversión debe basarse en pilares fundamentales, expectativas de los mercados de capitales y si esa inversión se ajusta a nuestros objetivos de riesgo y retorno así como a nuestras restricciones particulares (horizonte temporal, tratamiento fiscal, legales y consideraciones de liquidez). Como dice Warren Buffett, uno de los mejores inversores de la historia, “lo que el ser humano hace mejor cuando se trata de la interpretación de nueva información es mantener intactas sus conclusiones previas”. Un tema relevante, como la mayor parte de los inversores en criptomonedas son particulares no profesionales, los inversores retail no acreditados suelen sufrir del “*illusion of control bias*” (sesgo de la ilusión de control sobre los mercados). Es decir, los participantes en el mercado piensan que pueden controlar o intervenir (aunque sea parcialmente) los resultados de sus inversiones cuando en la práctica no es así. Este sesgo está íntimamente relacionado con sesgos emocionales: *illusion of knowledge* (sesgo donde los inversores creen que conocen fundamentales o drivers de los mercados financieros cuando realmente lo desconocen) y el *overconfidence bias* (sesgo de sobreconfianza en uno mismo o sobreautovaloración).

Veamos la siguiente noticia aparecida en el diario digital 20minutos.es el 23 de junio de 2021:

“Las estafas con criptomonedas inundan las redes: estas son las más comunes y las recomendaciones para evitarlas”.

No es difícil pensar que la anterior noticia puede afectar o predisponer a no invertir en criptomonedas. Hasta que la regulación no esté consolidada, las criptomonedas se encuentran inmersas en un vacío legal que puede ser aprovechado por delincuentes. No obstante, si por esta noticia descartamos las criptomonedas de nuestro universo de asset classes invertibles para siempre, estaremos cometiendo un grave error. Estafas existen en muchos ámbitos de la vida y lo que es verdaderamente necesario es conocer las características de las criptomonedas. Si descartamos las criptomonedas por esta noticia, estaremos incurriendo en *hindsight bias* (memoria selectiva de eventos pasados) si tipificamos todos los exchanges como no fiables ya que también existirán

opiniones muy favorables sobre las mismas. También podemos estar cayendo en *representativeness bias*, ya que la regulación y seguridad jurídica irá aumentando y estas noticias con titulares tan fuertes con intenciones comerciales pueden predisponer a los inversores en el futuro (este sesgo es una trampa al pensar que el pasado persistirá y que la nueva información se descontará únicamente en base a las experiencias pasadas).

Veamos las dos noticias siguientes, aparecidas con sólo un día de diferencia:

“La inversión de los fondos en bitcoin alcanzará los 300.000 millones”

Expansion.com, 24 de junio de 2021

O esta:

“Las firmas de inversión dicen que las criptomonedas son “veneno para ratas”

Publico.es, 23 de junio de 2021

Dan información contradictoria sobre la visión o enfoque de los inversores institucionales sobre las criptomonedas. Si no profundizamos en las noticias o leemos sólo una, obviamente nos puede afectar en la opinión que nos formemos sobre la inclusión de las criptomonedas en las carteras de los fondos de inversión o planes de pensiones. La primera de ellas del diario Expansión, nos ofrece una visión de aceptación de los fondos en criptoactivos mientras la segunda nos ofrece una visión de pánico por el elevado riesgo de las mismas, calificándolas como “veneno para ratas”. Ambas, para un inversor inicial, puede provocarlo un sesgo psicológico denominado *anchoring and adjustment bias*, lo cual significa que los inversores tratarán la nueva información en función de ideas prefijadas anteriores. Es decir, los participantes en el mercado utilizarán su experiencia psicológica heurística para determinar su árbol de decisión, es muy difícil que no tengan una visión negativa de las criptomonedas en el futuro (aunque lean noticias prometedoras) tras leer la noticia del “veneno para ratas” (Pompian, *The behavioural biases of individuals*, 2022).

En el patrón de los inversores al invertir en criptomonedas es fácil descifrar el sesgo denominado *mental accounting bias*. Según este sesgo, los inversores

cometemos el error de subdividir nuestras inversiones en subgrupos según el grado de necesidad o función que deben financiar. Es decir, inversiones en activos defensivos deben satisfacer necesidades primarias e inversiones más arriesgadas irán destinadas a intentar satisfacer “caprichos” o deseos menos necesarios. Por tanto, muchos inversores destinan a inversiones en criptomonedas ingresos no esperados o “bonus” o ingresos extraordinarios. Este comportamiento tan frecuente incumple el supuesto de las finanzas tradicionales de considerar la cartera como un todo y el carácter fungible del dinero.

Veamos esta noticia:

“El 64% de los adultos estadounidenses están interesados en las criptomonedas, según una nueva encuesta”.

<https://es.cointelegraph.com/news/64-of-us-adults-are-interested-in-crypto-new-survey-shows>, Cointelegraph, 21 de abril de 2021

Los resultados de las encuestas, en ocasiones, hay que profundizar en el contenido y respuestas. En cierta medida, los encuestados son manipulables. Existe un sesgo denominado *framing bias*, por el cual nuestras decisiones de inversión o respuestas se ven afectadas por la forma en que nos formulan las preguntas. Las consecuencias e implicaciones de este sesgo psicológico pueden conllevar que los inversores en criptomonedas:

- Los inversores no valoren el riesgo correctamente y finalicen con una exposición con excesivo riesgo de mercado.
- El riesgo expuesto sea no óptimo de acuerdo a la teoría de carteras debido a la forma que le presenten la información para la adopción de decisiones de su asset allocation.
- Sean “miopes” financieros. Es decir, se focalicen excesivamente en los retornos y movimientos a corto plazo y su rotación de cartera sea muy elevado, realizando muchos trades (operaciones de compra y venta) e incurriendo en gastos de brokerage y realización de plusvalías con el consiguiente coste fiscal.

Un factor para considerar derivado del carácter innovador, emergente y “de moda” de este asset class es la “lluvia” o goteo incesante de noticias relativas

a las criptomonedas. Los inversores actuales y potenciales están sometidos a una sobre-información con divergencia de opiniones, muchas veces poco fundadas o interesadas. Sin duda alguna, este fenómeno distorsiona el escenario de decisiones de los inversores y puede afectar el sesgo psicológico denominado *availability bias*, por el cual los inversores otorgan una excesiva importancia a la información más reciente o que tienen más “fresca” en su memoria. De este modo, los inversores consideran la probabilidad de un fenómeno económico de acuerdo a la “frescura” o facilidad que este fenómeno viene a su mente. Es importante mencionar que el cerebro humano recuerda más fácilmente los eventos más recientes, podemos decir que el “retrovisor” humano es de corto alcance sobreponderando en nuestro árbol de decisión los eventos más recientes derivando en decisiones de inversión sesgadas según el carácter de las recientes noticias o, peor aún, según la opinión subjetiva dada a las mismas.

“El bitcoin conquista nuevos máximos históricos por encima de 63.500 USD”.

Noticias como la anterior, aparecida en Bolsamania.com, el 13 de abril de 2021, puede ayudar a crear una “burbuja” y crear expectativas irracionales sobre estos activos y pensar que la revalorización sea “eterna”. Las expectativas “psicológicas”, el “*herding behaviour*” (comportamiento en masa, adopción de posiciones largas simplemente porque el resto de los inversores esté comprando) y no basar las decisiones de inversión en los fundamentales de los activos financieros puede provocar la denominada “burbuja”. Mientras que la tendencia alcista continúe y el inversor “irracional” experimente plusvalías latentes, puede provocar el sesgo psicológico denominado *overconfidence bias* (Pompian, Behavioral Finance and Investor Types: Managing Behavior to Make Better Investment Decisions, 2012) que ocurre cuando los participantes en el mercado sobrevaloran o sobreestiman su habilidad o capacidad de prever los movimientos de los mercados. Puede interpretarse como una ilusión de capacidad o conocimiento (illusion of knowledge) donde creen que tienen mejor capacidad de previsión que la real. Combinado con el sesgo de *self-attribution bias* (todos sesgos de carácter emocional) donde el inversor tiende a adjudicarse los “éxitos” o plusvalías y razonarlos gracias a sus habilidades ilusorias (*self-*

enhancing) y culpar a otros o asignar los errores a circunstancias o factores ajenos o exógenos (*self-protecting*). Son sesgos emocionales y enraizados en la naturaleza del ser humano y su deseo de sentirse bien consigo mismo y las decisiones adoptadas. Esta sobreconfianza en la capacidad predictiva conduce a los inversores a infraestimar la incertidumbre y la desviación típica, riesgo o rango intervalo de error de sus estimaciones. Las consecuencias e implicaciones prácticas de esta sobreconfianza incluyen, entre otras, infraestimar el riesgo y sobreestimar los retornos potenciales, menor diversificación que la óptima y una excesiva rotación de la cartera y gastos de brokerage que conlleva menores retornos en las carteras financieras.

El perfil de las criptomonedas como asset class irá consolidándose paulatinamente. El elevado riesgo de estas y que hacemos mención en la presente tesis no debe llevarnos o conducirnos al error del sesgo psicológico denominado *regret-aversion bias*, donde el inversor comete el error de no hacer nada por miedo al fallo. De este modo, sobreponderamos en nuestra mente los actos de comisión (hacer algo) e infraponderamos o no consideramos errores de omisión (por no hacer nada). El sentimiento de pérdida es mayor por comisión que por omisión. No debemos cometer el error de eliminar de por vida las criptomonedas de nuestro universo de activos potencialmente invertibles por miedo a sufrir volatilidad en nuestras carteras. Este sesgo puede llevarnos a una cartera excesivamente conservadora y no alcanzar nuestros objetivos a largo plazo.

Análisis y valoración de las criptomonedas como inversión ESG y su papel en la RSC

Mientras que la categoría o calidad del corporate governance ha sido desde hace muchos años una consideración en el análisis de las inversiones, la consideración de otros factores cualitativos de carácter ambiental y cuidado del medio ambiente y factores sociales es de un desarrollado o implantación más reciente. En la actualidad, existe una verdadera “fiebre” por las inversiones ESG y existen muchos vehículos de inversión destinados a estas inversiones. Los inversores no sólo consideran la rentabilidad y riesgo a la hora de valorar los resultados de las inversiones, sino que tienen en consideración los factores ESG (environmental, social and governance).

El acrónimo ESG es más reciente pero el concepto tiene antecedentes como las consideraciones éticas (por ej, no invertir en empresas de industrias de armamento o de bebidas alcohólicas) o las inversiones con impacto social positivo. Por supuesto, los inversores buscan maximizar la rentabilidad con el menor riesgo posible, pero ello no es contradictorio con las consideraciones de sesgar nuestro asset allocation con inversiones que cuiden del medio ambiente o que colaboren con frenar el cambio climático, colaboren con el bienestar social (por ejemplo, creación de empleo en zonas deprimidas) o sean empresas con un buen gobierno corporativo (por ej, evitar empresas objeto de inversión con antecedentes de prácticas corruptas o abusos de derechos humanos). Es decir, el concepto ESG amplía el espectro de stakeholders que satisfacer con las inversiones. El término ESG también se puede denominar inversiones sostenibles (*sustainable investing*) o inversiones responsables (*responsible investing*). Es un tema complicado o incluso polémico de abordar. Por ejemplo, si la consideración de los factores ESG provoca un deterioro del binomio rentabilidad-riesgo, ello podría significar que el gestor de fondos incumple sus deberes fiduciarios. En los Estados Unidos, incluso las administraciones públicas reguladoras han intervenido para que los gestores patrimoniales puedan realizar su trabajo sin potenciales conflictos de interés. El departamento de trabajo (US Labour) de los Estados Unidos afirmó que la consideración de los factores ESG en el cálculo de la rentabilidad y riesgo esperados de los activos financieros no es una violación de las responsabilidades fiduciarias de los gestores.

El perjuicio del Bitcoin a las políticas económicas y sociales favorables al fenómeno del cambio climático es de los aspectos más controvertidos, por el elevado consumo energético del Bitcoin. No ya como no cumplimiento de un medio de cambio o inversión ESG, sino como la conveniencia de su aprobación. Como ejemplo, existe una página web dedicada en exclusiva a tratar este aspecto negativo del Bitcoin: <https://digiconomist.net/>.

Como muestra, veamos esta noticia aparecida en dicha página el 10 de marzo de 2021: “Bitcoin may consume as much energy as all data centers globally”.

En español, afirma que el Bitcoin podría consumir tanta energía como todas las bases de datos a nivel global. *La externalidad negativa es inmensa*, la huella de carbono de la minería del Bitcoin es comparable a la ciudad de Londres y es creciente incentivado por las elevadas rentabilidades de la inversión en Bitcoin. Existe un estudio muy conocido y citado de la Universidad de Cambridge (University of Cambridge Centre for Alternative Finance) que estimó la energía utilizada para la minería del Bitcoin excede al consumo de países como Holanda o los Emiratos Árabes Unidos

No obstante, aunque la principal característica del Bitcoin es su descentralización, los reguladores pueden abordar esta externalidad fácilmente mediante cargas fiscales o limitación a los reducidos y localizados productores de equipamiento dedicados a la minería de las criptomonedas. Un estudio muy relevante y de alto impacto en la concienciación del riesgo de la emisión de criptomonedas (Jiang, y otros, 2021) donde los autores siguieron las emisiones de carbono de las transacciones en Blockchain asociadas a la minería de Bitcoin en China. Estos autores estimaron que el pico de consumo de energía se alcanzará en 2024 alcanzando la misma emisión de CO2 que países de tamaño medio en Europa, como Italia o la República Checa. Los autores defienden la intervención pública pero no creen que las medidas fiscales sean efectivas, sino la regulación y control directo a los productores para no debilitar los esfuerzos globales de la economía sostenible.

A nivel de prensa económica financiera la preocupación por el impacto de consumo energético de la minería del Bitcoin se elevó a la máxima potencia por el anuncio del CEO de Tesla Elon Musk de no aceptar pagos de vehículos Tesla con Bitcoin por su efecto negativo en el cambio climático. Ello lo anunció en mayo de 2021 y contrasta con su anuncio de febrero de 2021 de invertir 1.500 millones de USD en Bitcoin. Ello obviamente contribuye a la elevada volatilidad del Bitcoin. El perfil de la criptomoneda está lejos de consolidarse y su no cumplimiento con los estándares ESG retrasará su adopción en las carteras institucionales (además de las lagunas legislativas). El escenario y los actores alrededor de las criptomonedas deben abordar un Bitcoin “verde”. *La sostenibilidad de las inversiones no es ya un factor deseable, se está convirtiendo en algo obligatorio*. No existen dudas tras la firma del Acuerdo de

Paris, las inversiones deben tener una “etiqueta verde”. El Foro Económico Mundial, en su informe anual de riesgos globales, enfatiza los riesgos asociados al cambio climático (<https://www.weforum.org/agenda/2021/01/these-are-the-worlds-greatest-threats-2021/>) como una de las mayores amenazas que se enfrenta la humanidad. En concreto, el World Economic Forum dice textualmente: “el cambio climático (al que nadie es inmune) continúa siendo un riesgo catastrófico...Si las consideraciones ambientales no se afrontan en el corto plazo, la degradación medioambiental afectará a la fragmentación social y derivará en consecuencias dramáticas para la humanidad”. Las inversiones focalizadas en ESG han acaparado el 84% de las inversiones en equities desde 2019. *Por tanto, para que los criptoactivos sean aceptados y continúen su senda alcista, deben abordar esta cuestión y ser minados con energías renovables y no contaminantes.* Existe evidencia empírica que únicamente el 10% de los gestores de carteras consideran los criptoactivos en su universo de asset allocation debido a no cumplir los estándares ESG (lo cual es monitorizado según el Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index, <https://cbeci.org/>).

El proceso de adopción por parte del universo digital de los estándares ESG creemos puede ser comparable al pasado respecto al cumplimiento de los estándares legales con relación a la normativa de prevención del blanqueo de capitales y transparencia con relación a los clientes (AML/KYC, anti-money laundering/know your client). Una elevada proporción de la regulación financiera de la Unión Europea está dedicada a la normativa AMLD (anti-money laundering directive) donde el KYC y el MiFiD forman una parte sustancial. Un objetivo sustancial de MiFiD II es la mejora del registro de los clientes y la transparencia de las transacciones. El seguimiento de la trazabilidad de las transacciones en Blockchain fue un tema muy discutido en el universo cripto y parecía ir en contra de la propia naturaleza del activo y de su propósito u objetivo inicial. El incremento de la regulación ha continuado, en 2019 el Grupo de Acción Financiera Internacional (FATF, el cual es un organismo intergubernamental creado en 1989 por el entonces G8 para luchar contra el blanqueo de capitales y financiación del terrorismo) desarrolló en 2019 unas recomendaciones en 2019 para las VASP (Virtual Asset Service Providers, es una “bolsa” o mercado secundario de intercambio de criptomonedas) para la exigencia de identificación

de los emisores y receptores de criptomonedas por un importe superior a 1.000 USD. Es decir, se produjo una equiparación de la exigencia regulatoria de las transacciones tradicionales bancarias a las transacciones por medio digital. En la actualidad, el cumplimiento de los estándares y políticas AML/KYC es una práctica estandarizada en el universo de los proveedores de servicios financieros cripto.

En lo que respecta al impacto climático, en abril 2021 se anunció el CCA (Crypto Climate Accord, <https://cryptoclimate.org/>), el cual es un acuerdo liderado por empresas privadas que pretende eliminar las emisiones de carbono de la industria cripto. Los objetivos del CCA son:

- Conseguir la descarbonización de la industria cripto y emisiones cero de gases de efecto invernadero para el año 2040.
- Conseguir emisiones cero por consumo eléctrico para las empresas que firmen el CCA para el año 2030.
- Desarrollar estándares, herramientas y tecnologías con empresas que apoyen el CCA para acelerar la adopción de un Blockchain con energías renovables para el año 2025.

En conclusión, la industria de las divisas digitales debe adaptarse a los estándares ESG, como cualquier otra industria. En 2020 se minaron 3.500 toneladas de oro y 1.300 toneladas recicladas. Cada Kg de de oro reciclado produce 37 toneladas de CO₂, con lo que podemos deducir que la minería del oro contamina el doble que el Bitcoin. La transición de la industria digital es un hecho. De este modo, existe un estudio de 2018 de Coinshares (<https://coinshares.com/assets/resources/Research/bitcoin-mining-network-november-2018.pdf>) con datos de Deutsche Bank, Morgan Stanley y la Agencia Nacional China de Energía que cuantifica la cuota de las energías renovables en la industria del Bitcoin en un 78%.

Con lo que respecta a la transición digital y la RSC, es un reto. La digitalización es el motor de cambio en el sector financiero (Bizum es el mayor ejemplo de la vanguardia tecnológica) y a la vez se cuestiona la productividad del trabajo híbrido (presencial y a distancia). *La tecnología aporta pros y contras pero es incuestionable que la digitalización es uno de los pilares de la*

transformación empresarial (junto al talento y la sostenibilidad). Tras la crisis provocada por el COVID-19, es el momento que las empresas aprovechen las ayudas públicas para reinventarse para mayor competitividad y sostenibilidad. Según unos estudios de la consultora Accenture, las empresas que han invertido en tecnología crecen 5 veces más que aquellas que no apostaron por la digitalización.

Los *activistas de corte neo-luditas* (contrarios a los avances tecnológicos, por creer que vulneran las condiciones laborales, dejando sin trabajo a las personas y aumentando las desigualdades sociales, (Bailey, 1998), (Sale, 1996)). Tanto los luditas actuales como los previos se equivocan, pues la desaparición de profesiones en un sector conduce a la aparición de nuevos trabajos en sectores emergentes, siendo los mismos más adecuados para la creatividad humana (v.g. de ser un aparcerero sin límite de horas y con una producción de subsistencia a convertirse en un trabajador industrial con turnos y salario estable -2º rev. industrial-, pasando por ser un oficinista con horario fijo e ingresos que permiten ahorro -3º rev. industrial-, hasta profesionales con libertad financiera y de horarios -4º rev. industrial-). En realidad, la relación entre los avances tecnológicos y el bienestar laboral no es proporcionalmente inversa, sino exponencialmente convergente: cuantos más avances tecnológicos se producen, más aumenta la riqueza mundial (tanto por renta como por prestaciones a disfrutar) y mayor convergencia tiene lugar en el nivel de vida planetario, incrementándose así el bienestar de la humanidad y su esperanza de vida (que son dos de los grandes componentes de la medición del índice de la felicidad mundial, ya anunciados por Bentham y Malthus en el s. XIX, empezado a medir desde la década de 1960 por la OCDE, y mundialmente desde 2012, (Rojas M. , 2014)). (Sanchez-Bayon & García-Ramos, 2021). El hecho que la inteligencia artificial mejore y sustituya al ser humano en ciertas actividades laborales se denomina *singularidad* (Kurzweil, 2005).

Veamos el índice de desarrollo humano (Sánchez-Bayón, 2019):

Revoluciones	Rasgos	Indicadores macro y sociales
1ºRev. (1790-1870, Europa Atlántica)	carbón y máquina de vapor; se pasa del campo a los talleres urbanos (destacando sector textil); contratos civiles de arrendamiento de servicios (por jornadas y prestaciones pactadas); frena su avance los estamentos y gremios	Menos de 1.200 millones de personas, con un PIB per capita mundial inferior a 1.000 \$.
2ºRev. (1880-1950, en Europa y mundo anglosajón)	petróleo, electricidad y cadena de montaje, se pasa de talleres a fábricas (destacando sector automovilístico); contratos de trabajo propiamente (bajo un régimen iuslaboral tuitivo); frena su avance (con aceleraciones y recesiones) las guerras y las intervenciones estatales.	A principios del s. XX la población mundial era de 2.000 millones de personas aprox., con un PIB per capita superior a los 1.000 \$
3ºRev. (1960-2008, en Occidente – especialmente, tigres asiáticos)	informática y robotización, más energía nuclear y renovables; se pasa de fábricas a sedes tecno-burocráticas centralizadas y módulos de producción y ventas deslocalizados, más eclosión de <i>malls</i> o centros comerciales, con diversidad de relaciones laborales y empleabilidad (contratos civiles y mercantiles, laborales, funcionariales, etc.). Sigue alterando su avance las intervenciones estatales (es la era dorada de EB).	Con el cambio de milenio, la población mundial estaba sobre los 6.000 millones de habitantes y su PIB per capita se acercaba a los 10.000 \$
4ºRev. (2008-2030, planetario)	internet, programación (especialmente, <i>block-chain</i> desde 2009) y móviles (<i>smartphone</i> como oficina), es la era de las redes sociales, las <i>apps</i> & <i>everywhere commerce-ewc</i> o comercialización continua virtual, dándose el regreso del profesional (<i>knowmads v. freeriders</i>), quien puede ser comisionista, facturador, afiliado, etc. (surgen nuevas fórmulas de regulación de relaciones laborales mixtas, v.g. <i>click-pay</i> , <i>flexecurity</i> , <i>part-time jobs mix</i>). También es el periodo de la emergencia de <i>smart-contracts</i> & <i>DAO</i> (contratos inteligentes, como códigos en la nube, cuyas partes son inteligencias artificiales, que operan desde Bolsa hasta la conducción sin chofer).	Actualmente somos más de 7.400 millones de habitantes en el planeta, con un PIB per capita superior a los 13.500 \$.

Tabla 1. Comparativa entre revoluciones industriales y tecnológicas (Sánchez-Bayón, 2019a).

Fuente: Sanchez-Bayón, 219^a.

Las divisas digitales, como método para mejorar la retribución de los colaboradores, son, con relación al coste de las transacciones, la tecnología otorga a las divisas digitales una elevada eficiencia en costes en las transacciones internacionales frente a los instrumentos tradicionales. Según Enciso (Camacho, 2018), las criptomonedas son un aporte al desarrollo económico de los países porque se convierte en una bolsa de valores alternativa con costos que alcanzan una reducción del 50% en relación con la bolsa de valores tradicional

Como dijo el CEO de la Gestora de Capital Riesgo Andreessen-Horowitz, Marc Andreessen, sobre Bitcoin: introduce valor en el sistema, transfiere el valor, el receptor recibe el valor, sin necesidad de autorización, y en muchas ocasiones, sin comisiones. La última ventaja es de elevada importancia. *Bitcoin es el primer sistema de pagos de internet donde las transacciones se pueden realizar sin o*

apenas sin comisiones. Los sistemas de transacciones tradicionales cargan comisiones del 2/3% y ello es en países desarrollados. *En muchos otros países, no existen sistemas de pagos modernos o las comisiones son muy superiores* (Andreessen, 2014).

En segundo lugar, las criptomonedas favorecen la denominada *economía colaborativa debido a su carácter descentralizado*, debido a que estos cryptoactivos no están controlados ni administrados por ningún órgano estatal (el código de su protocolo es abierto). Cualquier agente económico (con un hardware adecuado) puede colaborar en el sistema Blockchain y obtener una remuneración.

Otra ventaja digna de mención es su *carácter infalible* (Lakowski-Laguerre & Desmedt, 2015), debido a su naturaleza de bloques. Si una transacción es manipulada, la cadena sufrirá incompatibilidad en su interconexión. Blockchain sustituye al internet de la información por el internet del sistema monetario. Blockchain nació por la carencia de confianza en el sistema monetario tradicional tras la crisis financiera de 2008 de las hipotecas subprime y la quiebra de Lehman Brothers.

La cuarta ventaja es referente a la *privacidad de las transacciones*. Es necesario la prevención de actividades delictivas, pero ello no debe privar derechos fundamentales. Es necesario la aclaración sobre la diferencia entre privacidad y anonimato cuando hablamos sobre transacciones financieras (Gallardo, Bazán, & Venosa, 2019). Anonimato es desconocimiento sobre emisor y receptor del dinero y privacidad es desconocer el producto y cantidad objeto de la transacción, pero no sus actores. Con respecto a las criptomonedas, las transferencias son anónimas pero cada transacción es registrada en un registro electrónico de carácter público.

Por último, es reseñable la carencia de intermediarios (sistema P2P, “*peer to peer*”) y mayor rapidez que las transferencias con divisas tradicionales.

Por tanto, visto el desarrollo de las divisas digitales, ¿cómo pueden servir de caso de RSC 3.0? La RSC tiene 3 estadios. La consagración mundial de RSC tuvo lugar con iniciativas de Naciones Unidas (especialmente en 1999 en Davos) y desde entonces se han establecido unos estándares globales mínimos en las

interrelaciones entre individuos, organizaciones y el medio ambiente. Ello ha posibilitado crear una inteligencia colaborativa y el establecimiento de una progresión de la RSC:

- RSC 1.0: propia de empresas emergentes, únicamente focalizadas a los fines económicos y donde no existe consideración por los aspectos cualitativos de los trabajadores. Carencia de cultura empresarial de la RSC.
- RSC 2.0: propio de empresas con mayor consolidación. Con relación al cuidado de aspectos cualitativos de los trabajadores, desarrollan aspectos motivacionales, su RSC es objeto de compliance (con certificaciones tipo ISO).
- RSC 3.0: son empresas maduras en cuanto a cuota de mercado y focalización. Son compañías orientadas a la nueva cultura empresarial y su RSC es global abarcando al entorno y la totalidad de stakeholders.

Las criptomonedas, como *moneda socio-empresarial digital*, ofrece ventajas. Existen numerosas empresas con su propia divisa interna empresarial, otorgándose por prácticas de compañerismo y resultados propios de su función, siendo válida para servicios otorgados por la propia compañía (en este sentido son ejemplo las grandes tecnológicas americanas de hardware, software o redes sociales). A la costumbre de premiar con tokens virtuales por prácticas respetuosas con el medioambiente se le llama "*actividades ecofriendly*". Por tanto, las denominadas monedas sociales digitales están al alza (como predijo Hayek en 1976 en su obra *La desnacionalización del dinero*) y se encuentran enraizadas en multitud de corporaciones. Ello otorga externalidades positivas a colaboradores directos (posibilita mayor remuneración sin riesgo de mayor fiscalidad o presiones inflacionistas) sino que, además, con relación a RSC 3.0 también otorga beneficios en materias medioambientales y sociales.

Análisis empírico estadístico del precio de la criptomoneda Bitcoin

Una *serie temporal* es un conjunto de observaciones de una variable ordenadas en el tiempo. Estas observaciones pueden tratarse como un proceso estocástico, es decir, como una familia uniparamétrica de variables aleatorias indexadas al tiempo t . Establecido un instante de tiempo t , tendríamos un suceso

aleatorio con una distribución de probabilidad asociada de la cual tenemos una muestra en $n=1$, nuestra observación.

X_t sería, por tanto, la variable aleatoria del suceso en un día concreto, su esperanza ($E(X_t)$) sería el valor en ese día y su desviación típica 0 ($n=1$). En $t+1$ tendremos otro suceso aleatorio del cual tendremos nuevamente una muestra de tamaño $n=1$ con idénticas características, así como en $t+2, t+3, \dots, t+n$. Si la serie fuese estacionaria (sucesos comparables en el tiempo), podríamos aplicar el teorema de Kolmogorov y encontrar la definición del proceso aleatorio que da lugar a la serie en cuestión.

El teorema de Kolmogorov establece que dada una sucesión de variables aleatorias independientes $(X_n)_{n=1}^{\infty}$, estableciéndose $\bar{\eta} = (X_1 + X_2 + \dots + X_n)/n$ y $\eta = (\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_n)/n$, se cumple que existe ley fuerte de los grandes números, así:

$$\eta - \bar{\eta} \longrightarrow 0 \quad \eta \longrightarrow \bar{\eta}$$

Por lo que la variable aleatoria media de una sucesión converge de manera casi segura a la media de las medias de las variables que forman la sucesión.

El cumplimiento estricto de las condiciones de estacionariedad es complicado, pero según el mismo matemático Andrei Kolmogorov pueden establecerse 3 condiciones de estacionariedad débil sobre una serie temporal para aplicar su teorema a través de un modelo ARIMA, que no es sino una regresión dinámica autorregresiva que tiene en cuenta su propio error. Estas 3 condiciones son las siguientes:

- a) Media constante. Es decir, la serie no tiene tendencia.
- b) Varianza constante. Es decir, la serie es homocedástica.
- c) Covarianza constante. Es decir, la relación entre los datos de dos instantes temporales depende de la distancia entre ellos, pero no de cuáles son.

Como caso particular, si un proceso estacionario cumple otras tres condiciones decimos que es *ruido blanco*, es decir, impredecible en términos lineales. Estas 3 condiciones son las siguientes:

- a) La media de los errores es cero. Es decir, la previsión es acertar en mi predicción.
- b) La varianza de los errores es constante. Es decir, el error es homocedástico.
- c) La covarianza de los errores es nula. Es decir, no existe relación entre los errores.

Por tanto, un ruido blanco es una serie tal que su media es cero, la varianza es constante y es incorrelacionada (Novo Sanjurjo, 1991).

En este sentido, la metodología de Box y Jenkins se basa en realizar transformaciones a la serie para conseguir que esta sea estacionaria, tras lo cual ajustamos un modelo ARMA hasta conseguir que la componente no explicada se exprese en forma de ruido blanco. Adicionalmente, una manera de refinar un modelo ARMA o ARIMA es completar al mismo trabajando en la predictibilidad de la volatilidad de su residuo a través de un modelo ARCH o GARCH.

Estas son las técnicas aplicativas del análisis predictivo y explicativo de una serie temporal. Posteriormente, de no resultar determinante, *debemos acudir a técnicas no lineales.* Las técnicas denominadas lineales no pretenden analizar una serie temporal como un proceso estocástico, sino que tratan los datos como un problema de regresión. Dentro de las técnicas no lineales de abordar el análisis de una serie temporal encontramos dos familias de modelos:

- En primer lugar, *modelos de machine learning* (Random Forest, Gradient Boosting Trees, Support Vector Machines, entre otros). Estos modelos presentan el inconveniente que no reflejan adecuadamente las relaciones temporales entre los datos. Por ello, aunque en ocasiones pudiesen producir mejores resultados que la metodología Box y Jenkins, habitualmente no nos generan un valor añadido. La metodología Box y Jenkins se aplica a los modelos ARMA o ARIMA para encontrar el mejor ajuste de una serie temporal de valores.
- En segundo lugar, *encontramos modelos de aprendizaje profundo (deep learning)*. En este caso, debemos acudir a las redes neuronales recurrentes para conseguir captar las relaciones entre puntos temporales. Sin embargo, debido al problema del desvanecimiento del gradiente que

se produce en esta tipología de modelos, la mejor opción dentro de este grupo son las redes LSTM (Long Short Term Memory). Estos modelos si capturan patrones estacionales, no lineales y no precisan del cumplimiento teórico de estacionariedad. Su contra es el que adolece todo modelo basado en el deep learning: son modelos de “caja negra” no explicativos. Son muy acertados en cuanto a capacidad predictiva, pero incluso en ciertas ocasiones no es factible saber las variables que llevaron al modelo a prever un resultado.

En este capítulo de la tesis, nuestro propósito consiste en analizar la aplicabilidad de los modelos ARIMA sobre una serie temporal de BTC (bitcoin).

Nuestra serie temporal consta de 1.081 observaciones (casi 3 años), datos diarios desde el 18 de diciembre de 2017 hasta el 2 de febrero de 2021. Cada observación muestra la cotización del BTC (USD por unidad de BTC) con precios de cierre. Un dato importante que debemos puntualizar es que fines de semana y festivos forman parte de la base de datos porque el mercado blockchain funciona también durante estos días, a diferencia de las divisas tradicionales (las cuales cotizan 24h excepto los fines de semana).

Descripción de la serie temporal

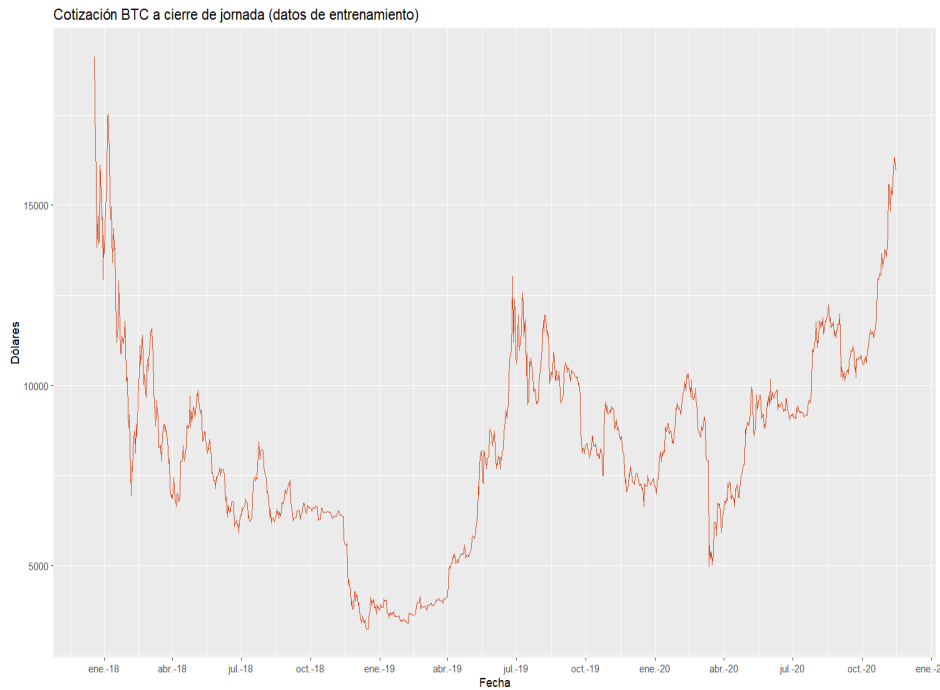
Variable	Rango de datos	Nº de datos	Frecuencia
USD/BTC	18/12/2017-2/02/2021	1.081	datos diarios

A diferencia de otras series temporales (por ejemplo, datos de demanda eléctrica), no creemos a priori que existan ciclos estacionales, pero a efectos de definir el modelo ARIMA utilizamos una frecuencia semanal (7 observaciones) para la definición del ciclo (no es algo relevante, el programa software exige una agrupación de datos). *Realizamos un split train test en el 15 de Noviembre de 2020.* Para ello utilizaremos el porcentaje de error absoluto medio (MAPE).

A continuación podemos ver los datos de entrenamiento:

Gráfico 21

Cotización BTC a cierre de jornada (datos de entrenamiento)



Elaboración propia

Basta un análisis visual de los datos para obtener la conclusión que la serie no es estacionaria, ni en media ni en varianza. A continuación, vamos a realizar la descripción del proceso iterativo llevado a cabo para convertir esta serie en estacionaria, de forma que se cumplan los tres requisitos teóricos de Kolgomorov.

Estacionariedad de la serie en varianza

Para la consecución de una serie que sea estacionaria en varianza realizamos un test de Box-Cox que nos arroja una λ de 0,57. Utilizamos este parámetro para la transformación de la serie de forma que la serie resultante sea estacionaria en varianza:

$$Cierre_{Transformado} = Cierre^{\lambda}$$

Si aplicamos el test de Box-Cox sobre la serie de cierre transformado obtenemos un lambda de 1, lo cual nos indica que la serie ya es estacionaria en varianza. Las transformaciones Box-Cox son un grupo de modificaciones potenciales para corregir sesgos o desigualdades y la corrección de la no linealidad en la relación.

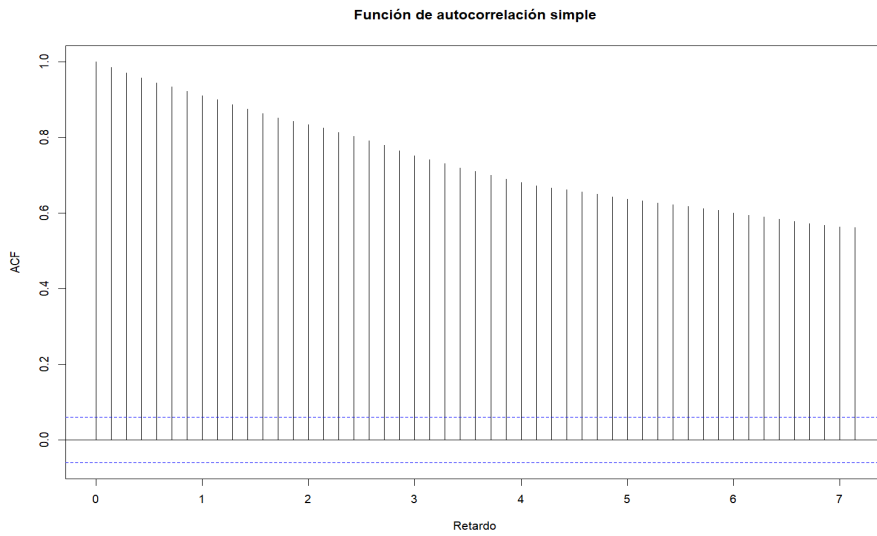
Estacionariedad de la serie en covarianza y media

Con objeto del estudio de la estacionariedad en covarianza utilizamos *correlogramas*. Los correlogramas es una imagen de la correlación de estadísticas, muestra para toda la serie las correlaciones entre el dato en un instante de tiempo y el dato en n instante precedentes. *Estas consecuciones de correlaciones son las denominadas funciones de autocorrelación simple y parcial*. La denominada simple para la evaluación de la pertinencia de introducir componentes autorregresivos y la parcial de componentes de medias móviles (error de predicción) (Iriundo Alegría, Torres, & Escudero Alcántara, 2008).

En el caso que la correlación entre las observaciones en un instante de tiempo y un momento determinado anterior se encuentra encuadrado entre las bandas de Bartlett, podremos decir que no es significativo y que por tanto se cumple esta condición de ruido blanco. Ruido blanco es una serie incorrelacionada (además de media 0 y varianza constante). Las funciones de autocorrelación simple y parcial (con una derivada, refiriéndose a los incrementos de cotización) de nuestros datos muestran claramente una autocorrelación de t con $t-1$, es decir, se justifica la entrada de un componente AR1 en el modelo.

Gráfico 22

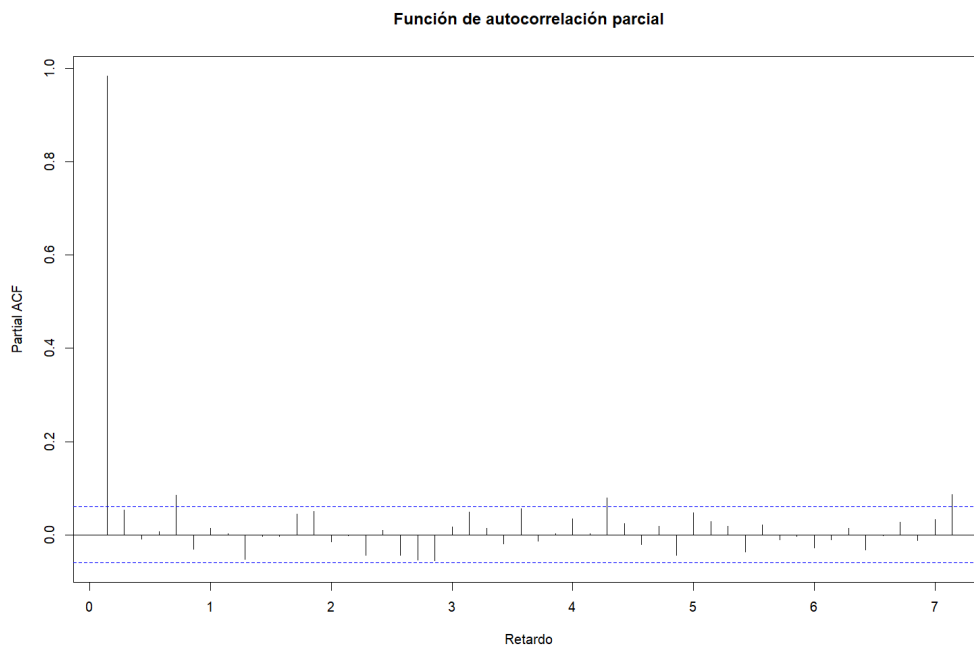
Función de autocorrelación simple para el AR (1)



Elaboración propia

Gráfico 23

Función de autocorrelación parcial el AR (1)



Elaboración propia

De este modo, nuestro modelo quedaría de la siguiente manera:

$$X_t^\lambda = \mu + \phi X_{t-1}^\lambda + a_t$$

Donde:

- X_t^λ : Dato de cotización transformado en el instante t .
- X_{t-1}^λ : Dato de cotización transformado en el instante $t-1$.
- θ : Coeficiente del componente autorregresivo en $t-1$.
- μ : Media aritmética de los datos a lo largo de toda la serie.
- a_t : Ruido no explicado por el modelo.

El entrenamiento de este modelo en R con el paquete forecast nos devuelve los siguientes coeficientes:

Coeficiente	Valor Estimado	Desviación típica de la estimación
Ar1 (θ)	0.9945	0.0038
Mean (μ)	177.5129	24.3150

Así, observemos que el valor de θ se acerca muy peligrosamente a 1 (sobre todo si tenemos en cuenta $\pm 2\sigma$ asumiendo normalidad). Los valores de los coeficientes autorregresivos superiores a 1 son consecuencia de que se viole la condición teórica básica de la estacionariedad en media y conducen a predicciones explosivas conforme nos alejamos en el horizonte temporal de previsión. Este problema lo podemos abordar si, en lugar de trabajar directamente sobre la variable target (X_t), trabajamos sobre la diferencia entre instantes de tiempo ($X_t - X_{t-1}$), es decir, no sobre la cotización del Bitcoin a cierre de sesión, sino sobre la variación en la cotización entre los cierres. Al construir nuestro modelo de esta manera perdemos el intercepto media y obtenemos los siguientes coeficientes:

$$X_t^\lambda - X_{t-1}^\lambda = \phi(X_{t-1}^\lambda - X_{t-2}^\lambda) + a_{t-t-1}$$

$$X_t^\lambda = X_{t-1}^\lambda + \phi(X_{t-1}^\lambda - X_{t-2}^\lambda) + a_{t-t-1}$$

Donde:

- $X_t^\lambda - X_{t-1}^\lambda$: Variación transformada en la cotización de BTC.
- $X_{t-1}^\lambda - X_{t-2}^\lambda$: Variación inmediatamente anterior.
- ϕ : Coeficiente autorregresivo.
- a_{t-t-1} : Ruido no explicado por el modelo.

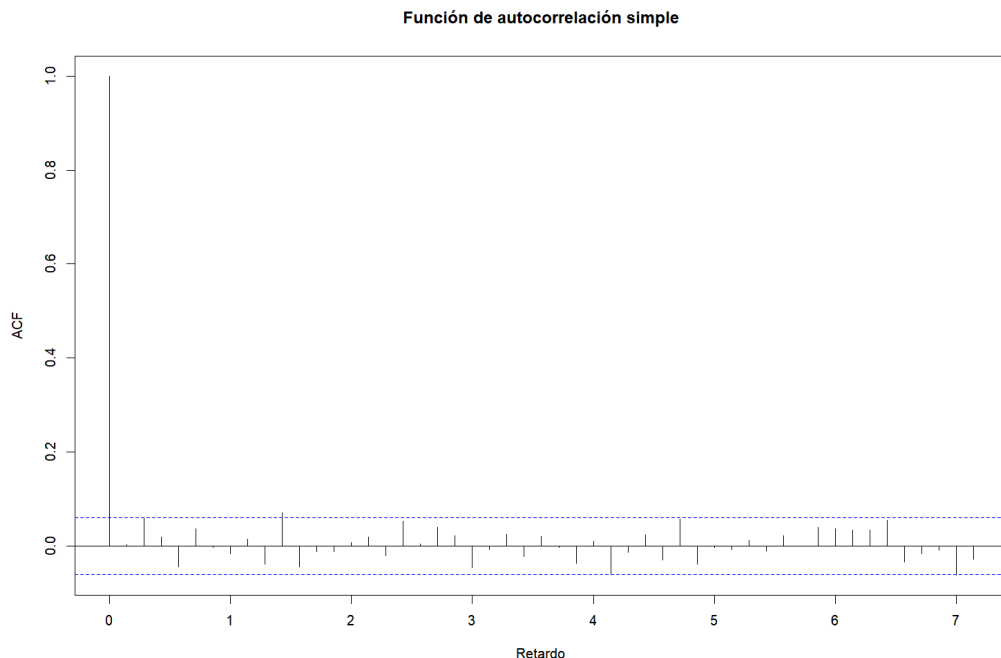
Coeficiente	Valor Estimado	Desviación típica de la estimación
Ar1 (θ)	-0.0586	0.0307

Mediante la observación de los resultados concluimos que el parámetro autorregresivo es muy poco relevante en la explicación del modelo, sobre todo si tenemos en cuenta $\pm 2\sigma$ asumiendo normalidad. Si evaluamos la significatividad del parámetro utilizando la librería de R `lmtest`, obtenemos un valor p de 0,0564, apenas superior al umbral frontera de 0,05. O, dicho de otra forma, *el componente autorregresivo no es muy influyente en el valor futuro del bitcoin BTC según este modelo.*

Según la operativa habitual de construcción de los modelos ARIMA, estudiando las autocorrelaciones de los residuos de este modelo se pueden añadir otros parámetros si se observan otros patrones. Para ello, debemos acudir de nuevo a las funciones de autocorrelación simple (FAS) y parcial (FAP):

Gráfico 24

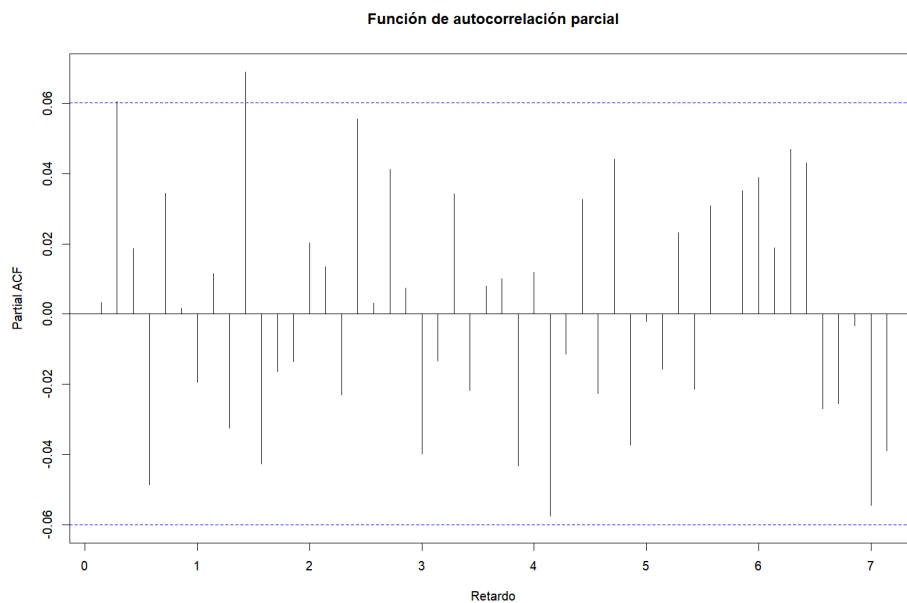
Función de autocorrelación simple de los residuos



Elaboración propia

Gráfico 25

Función de autocorrelación parcial de los residuos



Elaboración propia

Aparte de la evidente autocorrelación simple que la FAS muestra en $t=1$, observamos que todas las autocorrelaciones se contienen dentro de la banda de Bartlett (el intervalo $(-2/T; 2/T)$ se denomina bandas de Bartlett, por tanto, estadísticamente iguales a cero). De este modo, nuestro modelo pasa a cumplir la tercera condición de un proceso estacionario de ruido blanco. Con objeto de la confirmación de este punto podemos aplicar el test de Ljung-Box (estadístico utilizado para comprobar si una serie de observaciones en un periodo de tiempo específico son aleatorias e independientes), que nos muestra con qué seguridad (significatividad en términos de p valor para la significatividad de la hipótesis nula) podemos afirmar que una serie (en este caso los residuos de nuestro modelo) son ruido blanco (no hay evidencias para considerar los datos no aleatorios):

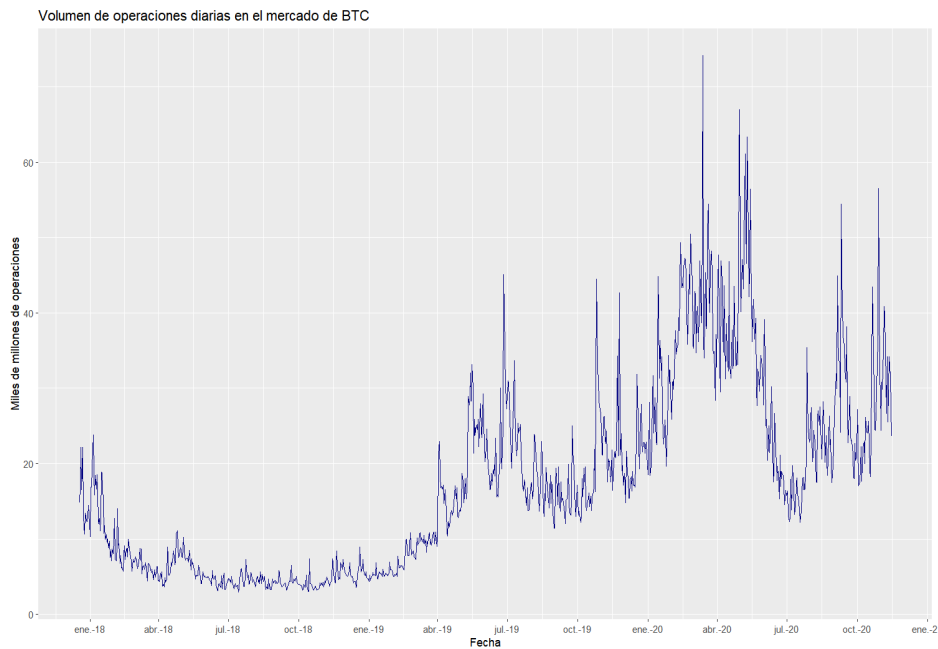
Retardo		pvalor
---------	--	--------

6	0.2498179
12	0.1400753
18	0.2585764
24	0.2971604
30	0.3192028
36	0.3105210
42	0.4047922
48	0.3693730

Con objeto de la profundización en el conocimiento del modelo nos planteamos cómo resultaría el modelo si introduyéramos una variable adicional referente al volumen de operaciones en el mercado del Bitcoin BTC. A continuación, presentamos la evolución de esta variable a lo largo del periodo estudiado y volvemos a presentar el dato de BTC:

Gráfico 26

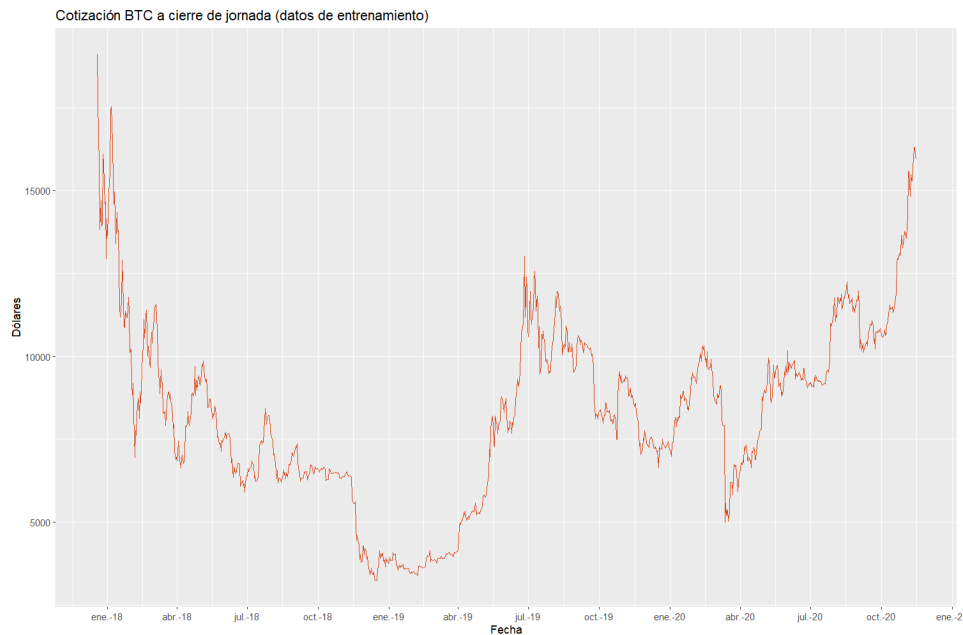
Volumen de operaciones diarias en el mercado BTC



Elaboración propia

Gráfico 27

Cotización BTC a cierre de jornada (datos de entrenamiento)



Elaboración propia

Mediante el método gráfico de observación obtenemos dos conclusiones:

- A simple vista parece entreverse que no existe una relación muy visible entre los dos datos.
- Creemos conveniente estudiar la realización de una transformación en lugar de trabajar sobre los datos originales.

Como consecuencia del segundo punto anterior, realizamos un test de Box-Cox sobre los datos, el cual nos devuelve una l de 0,11. Esto justificaría la realización de dos posibles transformaciones:

- X^λ
- $\text{Log}(X)$

Nos decantamos por el logaritmo neperiano debido a su más fácil interpretación. Además, también hemos estudiado el dato tanto en el instante t como introduciendo retardos desde t-1 hasta t-15. En consecuencia, hemos encontrado una mejor solución teórica y una mejor solución práctica.

Solución teórica

El modelo que mejor funciona (entendemos por funcionar mejor el modelo con variables no correlacionadas más significativas y que en mayor medida reduce el ruido blanco de los residuos) contempla el volumen de operaciones de los días t, t-1 y t-2 a escala logarítmica, lo cual establecería nuestro modelo con la siguiente formulación:

$$X^{\lambda}_t = X^{\lambda}_{t-1} + \phi(X^{\lambda}_{t-1} - X^{\lambda}_{t-2}) + \beta_1[\log(V_t) - \log(V_{t-1})] + \beta_2[\log(V_{t-1}) - \log(V_{t-2})] + \beta_3[\log(V_{t-2}) - \log(V_{t-3})] + a_{t-t-1}$$

Donde:

- V_t : Volumen de miles de millones operaciones en el mercado BTC durante t.
- β_i : Coeficientes de las variables volumen.

Si ajustamos el modelo obtenemos los siguientes coeficientes:

Coeficiente	Valor Estimado	Desviación típica de la estimación
Ar1 (θ)	-0.0646	0.0308
β_1	3.2317	0.7568
β_2	0.9347	0.7456
β_3	2.1328	0.7577

De los cuales β_1 y β_3 son muy significativos mientras que β_2 no lo es. No obstante, decidimos su mantenimiento por consistencia del modelo y porque su presencia si mejora la significatividad de los otros dos coeficientes. Si volvemos a realizar el test de Ljung-Box para analizar si los residuos del modelo se comportan como ruido blanco, observamos que empeora (igualmente ruido

blanco). Es decir, que hemos observado parte de la “aleatoriedad” de los residuos, de forma que afloran un poco más los patrones subyacentes.

Retardo	pvalor
6	0.2520
12	0.1112
18	0.2464
24	0.2243
30	0.2795
36	0.2790
42	0.3910
48	0.3561

Solución práctica

La solución práctica adolece de un problema. Resulta de utilidad para la explicación de la evolución de la variable (precio del bitcoin) pero resulta inútil para predecir su valor, puesto que implica la necesidad de conocer con antelación el volumen de operaciones que se producirán en el mercado durante el día para el que realizamos la predicción. En consecuencia, el mejor modelo que hemos encontrado prescindiendo de este dato es el siguiente, que sólo contiene el dato en t-2:

$$X_t^\lambda = X_{t-1}^\lambda + \phi(X_{t-1}^\lambda - X_{t-2}^\lambda) + \beta[\log(V_{t-2}) - \log(V_{t-3})] + a_{t-t-1}$$

Si ajustamos los parámetros obtenemos lo siguiente:

Coefficiente	Valor Estimado	Desviación típica de la estimación
Ar1 (θ)	-0.0594	0.0307
β	1.2955	0.7334

En consecuencia, podemos ver un menor impacto sobre el test de ruido blanco de Ljung-Box:

Retardo	pvalor
---------	--------

6	0.2819
12	0.1314
18	0.2445
24	0.2840
30	0.3023
36	0.2914
42	0.3954
48	0.3671

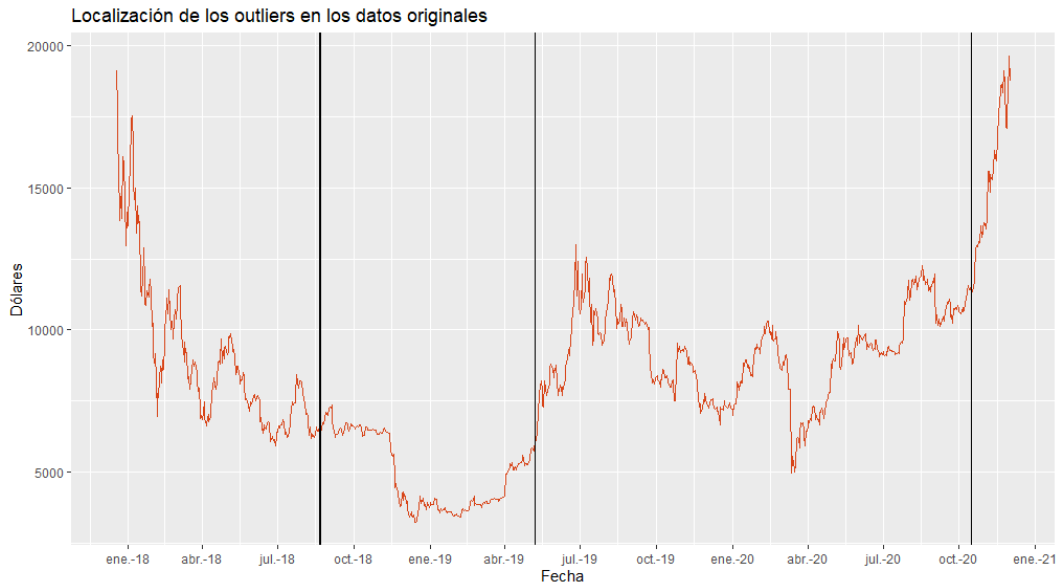
Análisis de los outliers e inclusión en el modelo:

En toda serie temporal puede haber outliers (datos extremos) debido a fenómenos no conocidos que alteren el patrón subyacente que tratamos de analizar y predecir. Con la intención de la eliminación de este “ruido” pueden introducirse en el modelo variables que recojan el impacto de estos datos atípicos. *Para la identificación de estos fenómenos atípicos dentro de los residuos de nuestro modelo utilizamos el paquete tsoutliers.* La función locate.outliers precisa de un umbral de sensibilidad que situamos de manera deliberada en un nivel alto (cval=10) con la intención de identificar únicamente patrones suficientemente relevantes. El resultado obtenido han sido cuatro outliers localizados en las siguientes observaciones (ordenadas por nivel de significatividad):

- 22 de agosto de 2018
- 16 de octubre de 2020
- 8 de mayo de 2019
- 21 de agosto de 2018

Gráfico 28

Localización de los outliers en los datos originales



Elaboración propia

Como puede observarse, estos outliers se agrupan en torno a tres momentos, de los que cabe comentar lo siguiente:

- **Momento 1 (21 y 22 de agosto de 2018).**

Encontramos dos outliers en los residuos del modelo de tipo *additive outlier* (día 21) y *level shift* (día 22). Esto implica que el modelo introduce una variable binaria cuyo único valor 1 tiene lugar el 21 de agosto y otra que determina un antes y un después del día 22. Vemos con esto que el modelo trata de dejar atrás el periodo de bajadas de precio que tienen lugar en el primer semestre de 2018 (Debemos recordar llegados a este punto que nuestro modelo ya no estudia la variable target como tal, sino la variación de ésta entre observaciones consecutivas).

- **Momento 2 (8 de mayo de 2019).**

A diferencia del anterior, este outlier es del tipo *temporary change*, lo que significa que el modelo interpreta un cambio temporal en el comportamiento de los datos. En concreto, este efecto temporal tiene un impacto relevante hasta aproximadamente el 20 de mayo, momento en el cual la cotización del bitcoin experimenta una fuerte subida relativa.

- **Momento 3 (16 de octubre de 2020).**

El modelo interpreta que se trata de un nuevo cambio de ciclo (outlier level shift), un ciclo que ahora sabemos conduce a las fuertes subidas que han llevado a máximos de cotización durante la primera parte del 2021.

Predicción

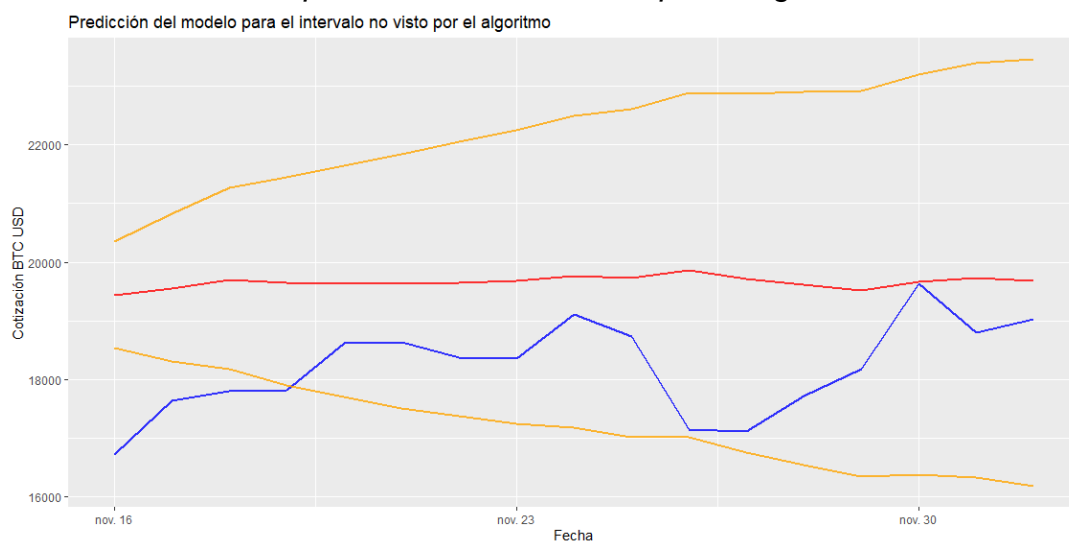
El modelo final consta de los siguientes parámetros:

Coefficients:								
	ar1	Volumen_log_t	Volumen_tmenos1	Volumen_tmenos2	LS248	LS1034	TC507	A0247
	-0.0328	3.4644	1.1821	1.0467	33.2785	25.6278	20.8654	-8.7189
s.e.	0.0311	0.7007	0.6971	0.7020	5.5063	3.9384	3.6769	3.9625

Estos parámetros dan lugar a la siguiente predicción sobre el periodo de test, que no ha sido visto por el algoritmo (recordemos el split se realizó el 15 de noviembre) a la hora de modificar los parámetros:

Gráfico 29

Predicción del modelo para el intervalo no visto por el algoritmo



Línea azul: dato real, Línea roja: predicción, Líneas amarillas: desviaciones estándar de la predicción.

Elaboración propia

El error absoluto medio (MAPE) conseguido por el modelo es del 8% (diferencia media entre los valores predichos y el observado es de un 8%). Este valor no nos aporta realmente información, sino que para ello debemos ponerlo en relación a un benchmark naïve, como puede ser un modelo que se limite a

predecir el valor del día siguiente. Si hacemos esto encontramos que el error es del 0,08%, un 1% del obtenido con el modelo Arima. En consecuencia, *debemos concluir esta investigación con que el modelo Arima no es un buen modelo para la predicción de la cotización BTC-USD, ya sea porque se trata de una variable que describe un camino aleatorio o porque las relaciones que subyacen no son lineales.*

Aplicación en el precio del Bitcoin del modelo LSTM (redes neuronales)

Tras el resultado obtenido en el punto anterior 4.5 con la conclusión de aplicación del modelo autorregresivo y como explicábamos en el marco teórico, para la profundización del conocimiento e intento de modelización del precio del Bitcoin, debemos acudir a la utilización de técnicas no lineales. Como decíamos, la mejor opción son las redes LSTM debido a que no precisan que la serie sea estacionaria, aunque tienen asimismo desventaja con relación a su carencia de información.

Los *modelos de redes neuronales recurrentes son modelos deep learning* que significa que pueden adaptarse por si mismos a nueva información. Podríamos decir que son un paso previo al denominado *machine learning* (suele referirse al software capaz de aprender sin haber sido programado explícitamente) y el denominado *inteligencia artificial* (software más avanzado, computadoras capaces de razonar como seres humanos) (Fierro, 2021). Podríamos definir el machine learning como aquella metodología analítica que posibilita la automatización de modelos mediante algoritmos. De esta forma, el modelo aprende de los propios datos que le son suministrados para localizar patrones o relaciones previas ocultas a priori.

Las redes neuronales artificiales son un modelo informático inspirado en cierta medida en el comportamiento cerebral humano (Akyildirim, Goncu, & Sensoy, Prediction of cryptocurrency returns using machine learning, 2021). Consiste en un network o red de unidades (*neuronas artificiales*) las cuales están interconectadas (a través de enlaces) para transmitirse señales. Las neuronas procesan la información de entrada y produce unos datos o variables de salida. *Una de las aplicaciones más extendidas de estas redes neuronales artificiales*

es como método de pronóstico de series temporales. Por ello, utilizamos esta metodología para el Bitcoin, este capítulo de la tesis trata de trabajar con el algoritmo deep learning de LSTM (Long-Short Term Memory) para tratar de construir un modelo de predicción eficiente y tratar de prever los precios del Bitcoin del próximo año. Las redes neuronales corresponden, por tanto, de tipología autoajustable porque tienen la capacidad de variar los parámetros que la definen a medida que incorporamos nuevos datos (Sharma & Kaushik, 2017).

Descripción de arquitecturas de las redes neuronales:

a) Redes neuronales artificiales (ANN)

Son procedimientos de tratamiento de datos basados en el razonamiento matemático de las neuronas del cerebro humano. Han sido utilizadas frecuentemente en la investigación de las finanzas y la economía, con resultados empíricos satisfactorios.

Uno de primeros ejemplos de su potencial para la modelización económica (Kimoto & Asakawa, 1990) y de patrones ya dejaron patente en las conclusiones el potencial de dichas tecnologías para la estimaciones del comportamiento de los mercados financieros en términos relativos a la regresión.

b) Redes Neuronales Convolucionales (CNN)

Esta tipología de redes se aplica habitualmente para reconocimiento facial u otras tareas, pero del mismo modo se han intentado implementar para la previsión de mercados financieros. La base de investigación académica es escasa pero existen intentos de modelización (Zolotareva, 2021) donde intentó prever patrones estratégicos de renta variable mediante la digitalización gráfica chartista pasada, las cuales posteriormente nutrieron la red. Los resultados de la investigación no fueron satisfactorios argumentando la falta de consistencia de los datos pero la autora resaltaba que la red preveía los cambios de tendencia.

c) Redes neuronales Recurrentes (RNN)

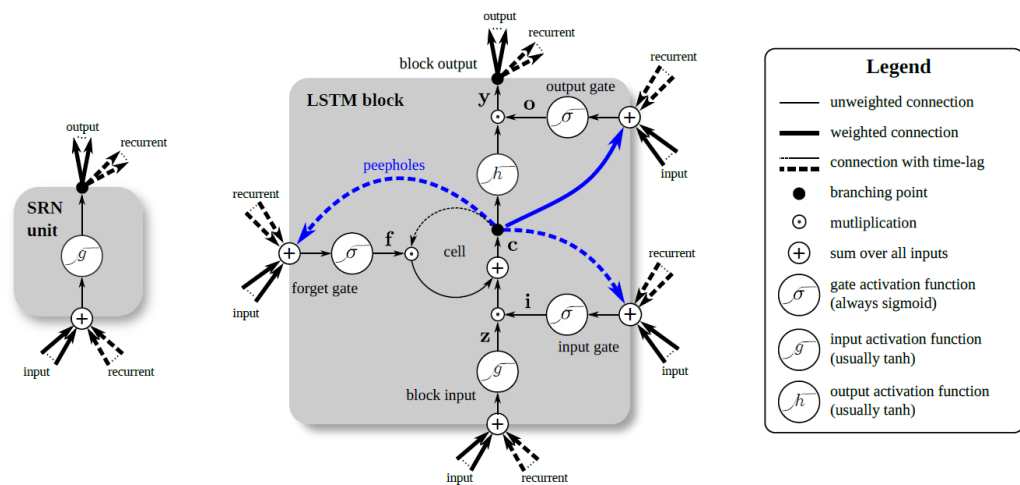
Esta tipología es habitualmente conceptuada como la arquitectura más eficiente para modelizar estimaciones con series temporales y mercados financieros (tanto renta variable, commodities...).

Son “*sistemas dinámicos con capacidad de representar estados temporales*” (Du & Swamy, 2013) con un potencial de estimación de patrones superior al resto de modelos estadísticos para series temporales. Dichos autores destacan que la propia naturaleza desestructurada de los mercados de capitales invita a la utilización de estas redes para encontrar patrones ocultos. Uno de los algoritmos bajo la estructura de los denominados RNN es el LSTM, aplicado en la presente tesis.

A pesar las redes neuronales aparentemente conforman una herramienta muy eficiente para la modelización financiera, debemos resaltar que su uso, en ocasiones, no derivó en resultados óptimos debido a la elevada sensibilidad de los modelos a las variables (tanto a nivel cualitativo como cuantitativo) utilizadas y al propio diseño arquitectónico de la red neuronal.

Veamos una representación gráfica de una arquitectura de una red LSTM:

Figura 3
Arquitectura de una red LSTM



Fuente: LSTM: A search space odyssey, Autores: Klaus Greff (University of Lugano)

Definición de nuestra serie temporal y análisis exploratorio

El universo de datos de la serie temporal consta de los precios históricos de cierre desde el 1/01/2017 hasta el 17/02/2021. Trabajamos con datos de cierre y volumen. Con esta serie histórica y la arquitectura de la RNN (recurrent neural network) intentaremos una profundización en la explicación de la tendencia de la cotización del Bitcoin, y una previsión de la cotización para el año posterior a la serie histórica. El soporte informático para la red neuronal es

el lenguaje de programación Python con las librerías Numpy y Pandas para la preparación de los datos y las librerías Sklearn, Tensorflow y Keras para intentar la creación y construcción del algoritmo modelo basado en la arquitectura deep learning.

Descripción de los datos

<u>Variable</u>	<u>Rango de datos</u>	<u>Nº de datos</u>	<u>Frecuencia</u>	<u>Predicción</u>
USD/BTC	1/1/2017-17/02/2021	1.508	datos diarios	365

```
In [2]: df = pd.read_excel('Cotización_Bitcoin.xlsx')
df['Date'] = pd.to_datetime(df.Date)
df = df.sort_values(by='Date')
df
```

```
Out[2]:
```

	Date	Columna1	Volume
1506	2017-01-01	998.325012	1.477750e+08
1505	2017-01-02	1021.750000	2.221850e+08
1504	2017-01-03	1043.839966	1.851680e+08
1503	2017-01-04	1154.729980	3.449460e+08
1502	2017-01-05	1013.380005	5.101990e+08
...
4	2021-02-11	47909.332031	8.138891e+10
3	2021-02-12	47504.851563	7.655504e+10
2	2021-02-14	48717.289063	7.124868e+10
1	2021-02-15	47945.058594	7.706990e+10
0	2021-02-17	49401.285156	7.629276e+10

1507 rows x 3 columns

Preparación de los datos (data pre-processing)

La preparación o pre-procesamiento de los datos es la parte más importante en la construcción de un modelo deep learning y habitualmente se le conoce como la parte del trabajo “garbage in, garbage out” (basura que entra, basura que sale). Es decir, que, para intentar tener ingredientes de calidad para potenciar un modelo eficiente, debemos limpiar los datos y para ello es fundamental un paso previo de pre-procesamiento de los datos antes de la construcción del modelo.

En nuestro trabajo, utilizamos técnicas de limpieza y transformación de los datos. Con técnicas de limpieza o depuración de la serie de datos históricos pretendemos abordar el problema de datos incompletos, ruido e inconsistencia de los datos originales. Es muy importante, el análisis de los fenómenos económicos mediante la pura observación de los datos puede conllevar conclusiones no correctas derivado de la contaminación de los datos por diversidad de factores que insertan ruido e imposibilitan la clara percepción de los patrones o tendencias de la evolución o desarrollo de la serie temporal que pretendemos detectar con el algoritmo.

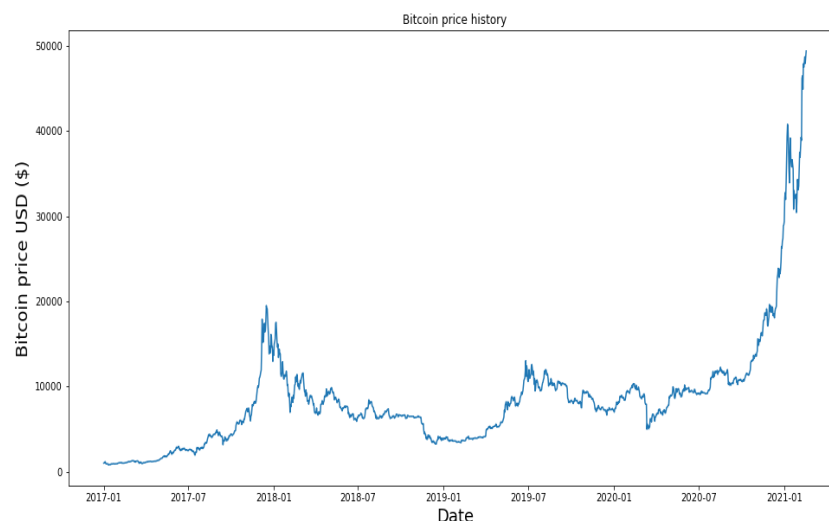
Limpieza de datos-Data clearing

1. EDA Analysis (Exploratory data Analysis-análisis exploratorio de los datos)

Esta analítica lo que pretendemos es simplemente la visualización del resumen del universo de los datos mediante la realización de investigaciones iniciales sobre los datos para descubrir patrones, detección de anomalías, probar hipótesis y comprobar supuestos.

Gráfico 30

Cotización del Bitcoin



Elaboración propia

2. Transformación de los datos-Data transformation

Multitud de *algoritmos de machine learning y deep learning* tienen un mejor comportamiento o performance cuando los datos numéricos que introducimos se escalan o normalizan a un rango estandarizado. Este proceso de normalización realiza una conversión de cada variable input de 0 a 1, lo cual realizamos con Min-Max-Scaler (librería sklearn).

MinMaxScaler Mathematical Formula

$$x_{scaled} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

```
In [5]: price = data[['Columnal']] # Assign Columnal column as price variable
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1)) # MinMaxScaler
norm_data = scaler.fit_transform(price.values) # Normalize
```

3. Función univariable

La metodología de las redes LSTM requiere la introducción de los datos en partes de la serie de datos. Es decir, una misma serie temporal se subdivide porque el modelo requiere aprender de sub-series de datos pasados para poder prever los siguientes valores de la secuencia. La función univariable separará o subdivirá los datos históricos para un proceso de “training and testing” (entrenamiento y examen del modelo para crear el algoritmo).

A. Subdivisiones de los datos para el entrenamiento del modelo (test and training splits)

Los universos de datos de las series temporales adoptan un enfoque diferente al subdividir el conjunto de datos para el entrenamiento y examen del algoritmo (habitualmente se le denomina proceso de “training and testing”, es el proceso de optimización del algoritmo). Es importante el mantenimiento de los datos en orden cronológico para la construcción de un modelo correcto para la predicción y modelización de la tendencia implícita en los datos y prever los valores futuros. Para este estudio del precio del Bitcoin, en el modelo LSTM utilizamos 5 días o sesiones de cotización para aprender y entrenar la predicción

del siguiente punto o cotización futura de la serie temporal. Además, el 80% del universo de datos será utilizado para entrenar y construir el modelo LSTM (lo que se conoce como “training data” o datos para entrenar el algoritmo) y el 20% restante será un conjunto de datos para el examen (“testing data”) y concluir cuanto debemos avanzar en el futuro para que el algoritmo aprende a prever la cotización futura del Bitcoin.

B. Construcción de un modelo LSTM

Con objeto de abordar el reto de la construcción del modelo LSTM, es imprescindible la definición que en el mundo de las redes neuronales se denomina “hyperparameters” (que se refiere a las variables que van a determinar la estructura de la red) y unas capas o *layers*. En este estudio del precio del Bitcoin los hyperparameters serán:

- ✓ *Número de capas (layers) de la red neuronal. La red tiene diversas capas desde el input de los datos hasta el output del modelo y el resultado derivado obtenido.*
- ✓ *Tasa de aprendizaje, el cual controla el grado de modificación del modelo en respuesta al error estimado cada vez que se actualicen las ponderaciones del modelo. Es relevante la selección del learning rate, un valor muy pequeño puede resultar en un periodo de entrenamiento muy largo que puede estancarse donde un valor muy elevado puede derivar en inestabilidad en el proceso de entrenamiento.*
- ✓ *Función de activación (activation function), el cual se utiliza para la introducción de la no-linealidad en el modelo.*
- ✓ *Loss function, es uno de los componentes más importantes de la red neuronal. Es el error previsto en la predicción y la metodología para el cálculo de la pérdida de eficiencia del modelo por el error se denomina loss function.*
- ✓ *Batch size, que controla el número de muestras de entrenamiento que serán llevadas a cabo antes de actualizar los parámetros internos del modelo.*
- ✓ *Número de Epochs, el epoch se refiere a un ciclo, revisión o pase a través de la base de datos para el training.*

- ✓ *Drop out rate. El dropout se refiere a ignorar unidades o neuronas durante la fase de entrenamiento las cuales se escogen de forma aleatoria y no considerarlas durante un entrenamiento con los datos. Ello se hace para evitar el denominado “over-fitting”, o sobre entrenado. Ello se produce cuando el modelo tiene un buen performance con los datos incluidos en ese training pero no con otros datos.*

La determinación de estas variables es compleja y muy relevante para el performance del algoritmo. El número de capas de la red neuronal influyen directamente en el resultado obtenido. Una learning rate baja generará unos resultados de entrenamientos más fiables, pero la optimización llevará más tiempo porque los pasos o etapas para la minimización de la loss function son escasos. Una learning rate elevada puede conllevar que el resultado del entrenamiento no converja o incluso diverja. Como decíamos, la función de activación es una función no-lineal aplicada por una neurona para dotar de capacidades no lineales a la red. Una relación entre variables es lineal si un cambio o incremento en la primera variable se corresponde con un incremento constante en la segunda variable. Por el contrario, una relación es no-lineal si un incremento (positivo o negativo) no necesariamente genera un incremento constante en la segunda. No obstante, puede haber una relación, pero aparentemente la relación entre ambas variables no es predecible. La función de activación convierte estos valores a una escala normalizada (0,-1; o -1,1) para poder ordenar los valores estadísticamente.

Como parte del proceso de optimización del algoritmo, se debe estimar el error del actual modelo con objeto de ajustar las ponderaciones de los coeficientes para reducir el error del siguiente proceso de modelización. Por ejemplo, supongamos tenemos 1.050 muestras para entrenar o procesar el algoritmo y establecemos que el *batch size* (el batch size es el número de muestras que serán procesadas hasta la siguiente actualización u optimización del algoritmo) es 100. El algoritmo tomará las primeras 100 muestras de datos del universo de datos de training (1-100), posteriormente el segundo centenar (101-200) y procede nuevamente a la optimización de la red. Este proceso continúa hasta llevar a cabo la optimización con todas las muestras. Un epoch (iteraciones de aprendizaje) se refiere a una ejecución del proceso de

optimización a través del universo de datos hacia atrás y delante de la secuencia de datos.

¿Cuál es el número óptimo de epochs? El cálculo de los MSE (errores cuadráticos medios) de los datos para el training and testing para cada epoch con diferentes valores máximos de epochs es el primer paso. Posteriormente, podemos repetir el proceso pero manteniendo constante la cuantificación de epochs (seleccionado anteriormente) y optimizando y “testeando” con diferentes números de neuronas. En este proceso realizamos el procedimiento *drop out* donde se excluyen probabilísticamente inputs y conexiones a las neuronas del network LSTM cuando se actualicen ponderaciones al entrenar la red. Como hemos dicho, este proceso tiene el efecto de reducción del overfitting y mejora sensiblemente el performance del modelo.

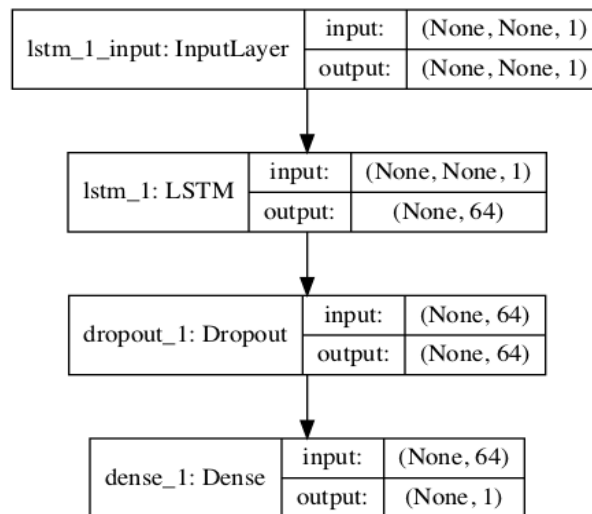
Para este estudio sobre la modelización del precio del Bitcoin, los *hyperparameters* son:

Nº de capas de la red neuronal	64
Learning rate	0,0001
Función de activación	lineal
Loss function	MSE
Batch size	4
Nº de epochs	100
Drop out rate	0,2

Una vez definidos los *hyper parameters*, el segundo paso es la construcción de un modelo de redes neuronales. En primer lugar, debemos comenzar o iniciar la RNN (*recurrent neural network*) mediante la creación de la arquitectura de la red, crearemos una serie de capas de neuronas secuenciales (una delante de otra). Posteriormente, añadimos la primera capa LSTM mediante la especificación de capas, la función de activación y el input shape. Para evitar el “overfitting”, añadimos el drop out y la capa output. Una vez realizamos la aplicación de los hyperparameters en las capas de la red neuronal, el modelo se ajusta y completa con la optimización y la loss function.

Al trazar la red neuronal quedaría:

Figura 4
Descripción redes neuronales



Fuente: elaboración propia

El resumen del modelo es:

Figura 5
Modelo de redes neuronales

```

Model: "sequential_1"
  
```

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm_1 (LSTM)	(None, 64)	16896
dropout_1 (Dropout)	(None, 64)	0
dense_1 (Dense)	(None, 1)	65

```

Total params: 16,961
Trainable params: 16,961
Non-trainable params: 0
  
```

Elaboración propia

C. Metodología de evaluación (Evaluation method)

Para este estudio del precio del Bitcoin, utilizamos cálculo del loss con la metodología MSE (Mean Squared Error). Los MSE es la media de las diferencias cuadráticas entre los valores previstos y observados de una variable.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

n: número total de términos para el cual error se va a calcular

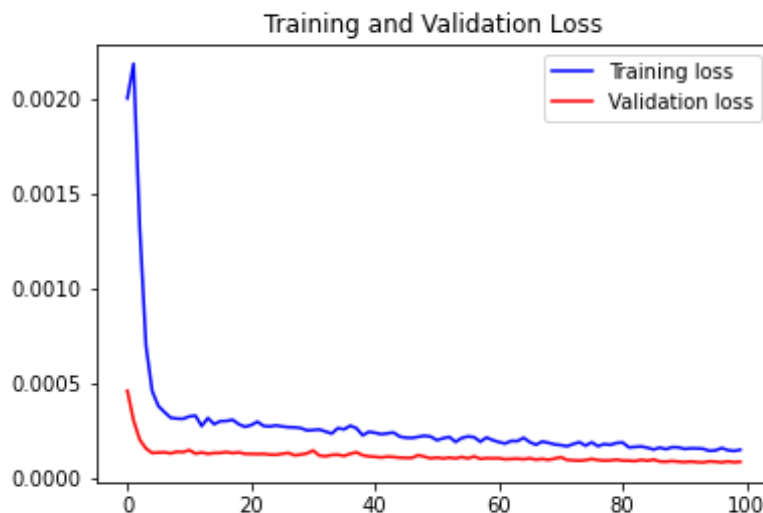
y_i : el valor observado de la variable

\bar{y}_i : el valor previsto por el modelo sobre la variable

Con estas metodologías de trabajo machine y deep learning, hay un enfoque de trabajo denominado *early stop*. Con este enfoque, se grafica la tasa de error (error rate) en los datos (de entrenamiento training y validation). El eje de abscisas es el número de epochs y el eje de ordenadas es el error rate. El proceso de *training* se supone que continúa hasta que el *error rate* del universo de datos *validation data* alcanza el *mínimum error rate*. Por ello, decíamos que incrementar en demasía los epochs puede conllevar un resultado *overfitted*.

Gráfico 31

Tasa de error de entrenamiento y validación



Elaboración propia

```
297/297 [=====] - 0s 509us/step  
test loss: 0.00378
```

Con objeto de simplificar el resultado del gráfico, si el *training loss* es significativamente menor que el *validation loss*, ello significa que nuestro modelo *overfits* los datos; si el *training loss* es significativamente mayor que el *validation loss*, ello significa que el modelo *underfits* (ello significa que el modelo o algoritmo no captura adecuadamente la estructura subyacente de los datos) los datos. En

caso de que el training loss y validation loss están en niveles similares, el modelo está obteniendo un buen performance. *En este modelo, el test loss es 0,00378, por lo que el primer performance del modelo parece adecuado, pero el resultado puede mejorarse mediante el ajuste de los hyper parameters.*

D. Ajuste de los hyperparameters (hyper parameters tune up)

Aunque nuestros valores de loss son reducidos, es importante la revisión en profundidad del resultado para verificar si el modelo generó un resultado *overfitted (sobreajustado)* o un modelo ajustado y acertado. Si el resultado del modelo no puede generalizarse a cualquier muestra de datos, es necesario proceder a un ajuste a los hyper parameters del modelo. El primer resultado del modelo no puede generalizarse debido a un resultado *underfitted*, ya que training loss es mayor que el validation loss. En este caso, existen 4 metodologías para mejorar el resultado final:

- 1) Incrementar el learning rate.
- 2) Incrementar el tamaño del epoch
- 3) Incrementar el tamaño del batch
- 4) Incrementar el número de unidades

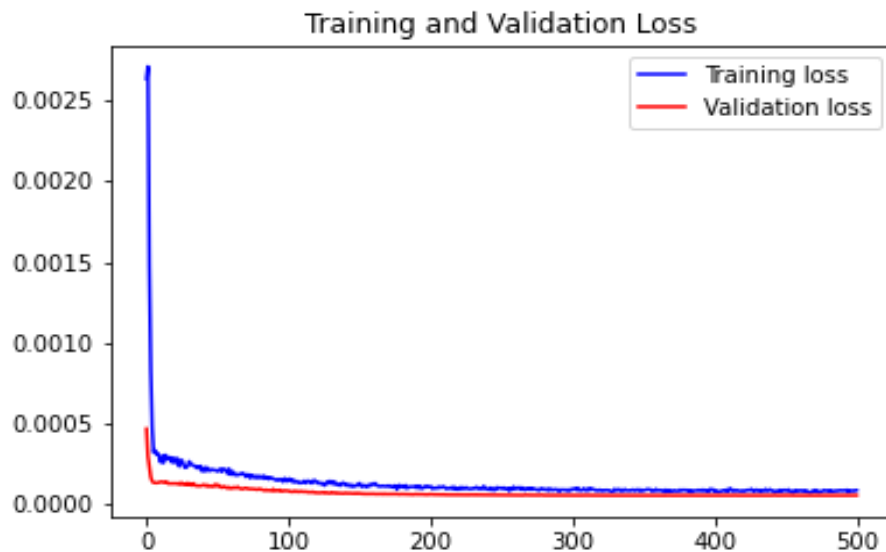
Proceder a incrementar el learning rate de 0,0001 a 0,001 resulta y deriva en un *incremento del test loss* y no modificó el resultado que adolece de underfitting. Por ello, hemos decidido el mantenimiento del learning rate en el nivel de 0,0001. *Proceder a incrementar el tamaño del epoch desde 100 a 200 conllevó un nivel menor de test loss, así como el gap entre training y validation loss, por lo que incrementar el tamaño del epoch conlleva un mejor resultado.* No obstante, como comentamos anteriormente, una dimensión excesivamente elevada del epoch puede conllevar un resultado de overfitting con el training data y conllevar que el modelo memorice los datos en vez de aprender del actual universo de datos. El incremento en el número de unidades desde 64 a 128 conlleva un mayor *test loss*. *Para este estudio del Bitcoin, el incremento del epoch size desde 100 a 500 es el ajuste de hyper parameter que finalmente llevaremos a cabo.*

La denominada “loss function” (función de pérdida) explica y detalla de forma más precisa el comportamiento del modelo que las tradicionales MSE para

redes neuronales de deep learning. La “loss function” es una función que compara los valores objetivo y el output del modelo y por tanto mide la capacidad y eficiencia del modelo con el “training data”. Durante el “training” o entrenamiento, pretendemos la minimización de la pérdida entre los valores previstos o predichos y los valores objetivo.

Gráfico 32

Tasa de error de entrenamiento y validación



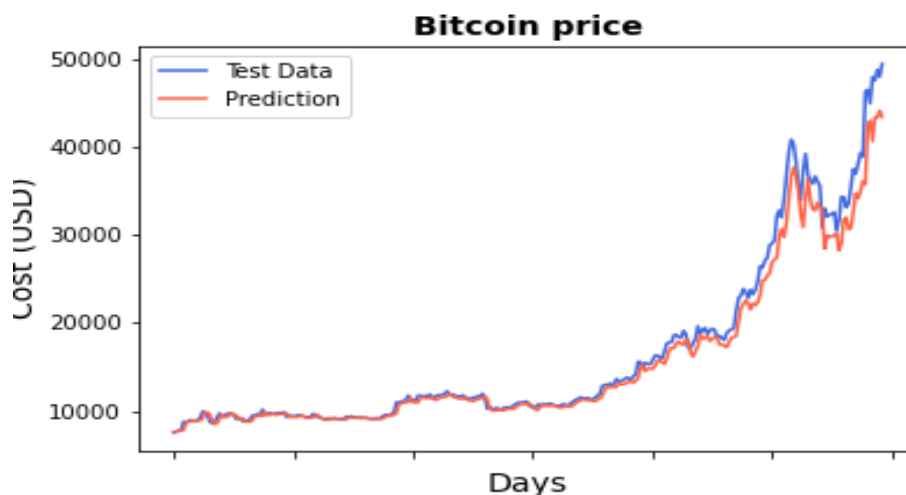
```
297/297 [=====] - 0s 655us/step  
test loss: 0.00119
```

E. Predicción

El modelo LSTM que hemos entrenado puede generar predicciones y puede ser evaluado mediante la comparación con el *test data*.

Gráfico 33

Precio Bitcoin



Elaboración propia

Days: datos históricos

F. Predicción (forecast)

El performance o comportamiento del modelo parece correcto sin “overfitting” el resultado, lo que parece suficiente para la previsión o predicción del precio del Bitcoin por parte del modelo. En la función descrita para la predicción, la metodología del *foreshadowing* se utiliza mediante la definición del *look back value* en 5. Con objeto de la explicación de esta metodología en redes, si tenemos un conjunto de datos (dataset) como:

[1,2,3,4,5,6,7,8]

Si el look back value (lo podemos traducir como “valores hacia atrás o retrovisor”) es 5:

[1,2,3,4,5] -> [6]

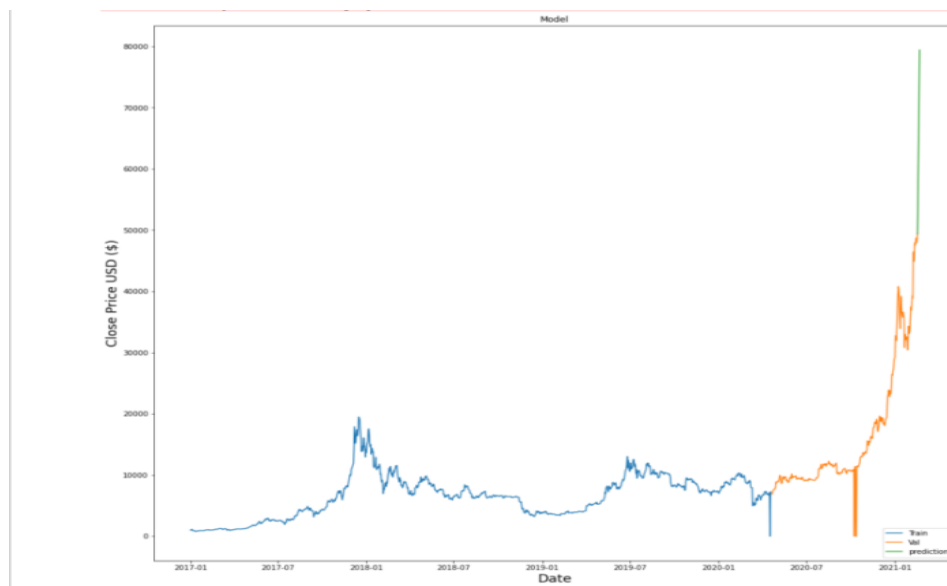
[2,3,4,5,6] -> [7]

[3,4,5,6,7] -> [8]

De manera semejante a la función univariable anterior, cada precio o cotización del Bitcoin se subdivide en la secuencia en variedad de patrones de input y output donde los 5 pasos se utilizan como inputs y un paso se utiliza como output para la predicción que se está tratando de aprender. La función o algoritmo de predicción devuelve una matriz de 365 valores enteros, y la predicción devuelve los 365 días posteriores a la última fecha del universo de datos del *test data* (17/02/2021).

Gráfico 34

Estimación modelo cotización Bitcoin



Elaboración propia

Las métricas obtenidas fueron las siguientes:

PERFORMANCE RESULTS FOR FORECAST MODELS

	Models	Forecast error (1 Y)		
		MSE	RMSE	MAPE
Bitcoin	LSTM	9.9124	3.1495	6949536.9825

Note:

1. The data has been obtained due to demonstrate the forecast error of the LSTM model.
2. To evaluate the accuracy, the difference between forecasted values and the actual values with three measures including Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), and MAPE (Mean Absolute Percentage Error).

Las métricas de regresión en aprendizaje automático que hemos utilizado son el MSE (error cuadrático medio). Básicamente mide el error cuadrado promedio de nuestras predicciones. Para cada punto, calcula la diferencia cuadrada entre las predicciones y el objetivo y luego promedia esos valores. Es la más habitual para la valoración de la regresión. Cuánto mayor sea, peor es el modelo. El MSE se puede ver como la varianza del error de pronóstico y no existe valor correcto, cuanto menor sea mejor y un valor de 0 sería un modelo perfecto. En nuestro caso, un MSE de 9,91, a pesar de que el modelo no aparenta “overfitting” (sobreajuste, sobreentrenamos nuestro modelo y nos podemos encontrar en una situación que considera válidos solo los datos idénticos a los de nuestro conjunto de entrenamiento, incluidos sus defectos) el resultado no fue satisfactorio. En cuanto al dato de MAPE, no podemos considerarlo debido a que no es útil en este caso como métrica explicativa ya que el LSTM no predijo correctamente la serie y la cuantificación de la métrica no tiene sentido.

Por otro lado, la RMSE (raíz del error cuadrático medio o desviación estándar de los errores):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

Y el MAPE (Mean Absolute Percentage Error), error porcentual absoluto medio, proporciona el error en términos de porcentajes:

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

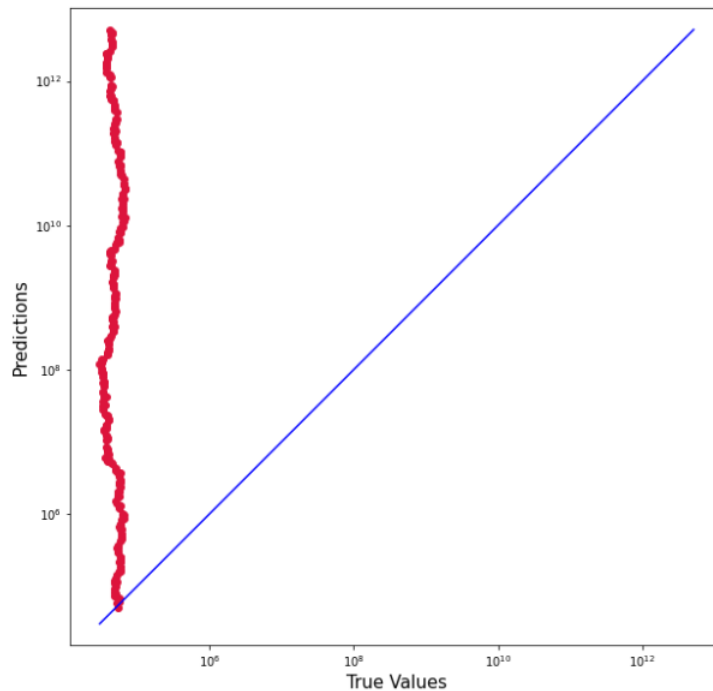
Conclusión

El objetivo de modelización del precio del Bitcoin parece muy complicado debido a la extrema volatilidad, el cual se basa en multitud de factores y provocó una elevada desviación típica. Además, el modelo únicamente pronostica valores positivos de incremento para el año siguiente, lo que nos da una pista

sobre una apreciación del Bitcoin frente al dólar norteamericano, pero resulta muy difícil la generalización de un modelo que pronostique la cotización. El LSTM muestra poca capacidad de predicción:

Gráfico 35

Capacidad de redicción del Modelo LSTM



Con objeto de dejar un camino abierto para los siguientes investigadores en la modelización del precio del Bitcoin, una posible mejora en el modelo puede ser añadir más variables de diferentes fuentes incluyendo variables cualitativas de artículos o redes sociales, así como la inclusión del volumen de trading de cotización como una variable que ajuste las ponderaciones de cada capa de una forma más precisa.

CONCLUSIONES

La tesis ha pretendido situar, primeramente a los criptoactivos en el diagrama analizando el binomio rentabilidad riesgo con relación a otras clases de activos; y en segundo lugar, ampliar la base del conocimiento científico-académico profundizando en el conocimiento empírico del perfil de riesgo y retorno de esta nueva clase de activo, realizando una valoración relativa respecto a otras clases de activos.

La primera hipótesis planteada fue:

¿Aportan valor las criptomonedas a la formación de algunas carteras de inversión?

La razón para el planteamiento de esta hipótesis fue la convicción de la necesidad de realizar una investigación científica empírica sobre una valoración relativa de las criptomonedas y las clases de activos tradicionales. Un valor añadido de la presente tesis a la comunidad científica es la amplia base de datos presentada, lo que otorga de significatividad estadística a las conclusiones.

La metodología es empírica, obteniendo estadísticos absolutos de la variable o diferentes estadísticos relativos (como aquellos de rentabilidad ajustadas al riesgo, como los ratios de Sharpe o Sortino), se tomó una muestra significativa de rentabilidades diarias durante casi 10 años y se realizaron comparaciones estadísticas obteniendo las siguientes conclusiones:

- El Bitcoin es, con diferencia (11,9 veces superior al siguiente activo más rentable como es la Bolsa americana) el activo financiero más rentable en el horizonte temporal estudiado en la presente tesis (desde enero de 2013 hasta agosto de 2022).
- No obstante, el riesgo (medido tanto en términos de desviación o semidesviación típica) es, asimismo, muy superior con relación al resto de activos financieros alternativos (el Bitcoin muestra una

desviación típica anualizada cercana al 105%). En este sentido, se coincide con el Banco de España, al considerar que las criptomonedas no sustituyen al dinero tradicional, no tienen las cualidades ni las condiciones del dinero fiat (España B. d., Informe de Estabilidad Financiera. Primavera, 2022). No obstante, tan extremo es su diferencia de retorno que en términos de ratios relativos el Bitcoin sigue presentando el mejor binomio rentabilidad-riesgo. Esta conclusión es de extrema importancia para la gestión de carteras en la coyuntura actual donde los inversores institucionales comienzan a plantearse la posibilidad de incorporar el Bitcoin u otras criptomonedas a sus carteras financieras. Importancia significativa, derivado del fuerte ciclo alcista tanto de las bolsas como de la renta fija debido a la política monetaria ultra-expansiva.

Pocos estudios científicos han analizado el binomio rentabilidad-riesgo de las criptomonedas y una contrastación empírica-estadística con las alternativas de inversión tradicionales, a pesar de la extensa cobertura mediática en prensa de este fenómeno y publicidad agresiva de brokers o exchanges. La objetividad empírica del estudio otorga información para adoptar decisiones racionales limitando los sesgos psicológicos (también estudiado en la tesis con profundidad los aspectos del *Behavioural Finance*).

La metodología científico empírico-analítica empleada recogió una muestra considerada apropiada para, a partir de la observación de ésta, establecer deducciones. El método empírico analítico es valorado por su rigor y por su objetividad en tanto que está basado en datos que son contrastables (Lopera Echavarría, Ramírez Gómez, Zuluaga Aristazábal, & Ortiz Vanegas, 2010).

Durante la realización del trabajo se presentaron obstáculos que han requerido un procesamiento de los datos que se han aprovechado para mejorar el conocimiento empírico del activo con hipótesis colaterales. Debido a la circunstancia de la excepcionalidad de cotización de las criptomonedas los fines de semana, se estudió la posible existencia de estacionalidad en la evolución de precios mediante el establecimiento de la siguiente hipótesis:

¿Tendrán las criptomonedas más rentabilidad durante los fines de semana?

La relevancia de la investigación es sustancial. En caso de poder modelizar un patrón de comportamiento estacional de las rentabilidades intradiarias, los alphas (o diferencias de rentabilidad con relación a los índices de referencia o benchmark) en la gestión de carteras pueden ser muy relevantes, considerando la elevada volatilidad del activo de referencia y la aplicación práctica del estudio puede ser muy rentable. *La hipótesis, resultó ser falsa. No se encontró estacionalidad los fines de semana.* Los resultados fueron contrarios a los esperados. La rentabilidad media (en valor absoluto) de los fines de semana es algo inferior con relación a los días laborables.

Es importante recalcar la importancia de la base de datos para la significancia estadística y la credibilidad de la demostración matemática. En primer lugar, el tamaño de la muestra (más de 2.500 datos de rentabilidades intradiarias de cada uno de los activos) y la transversalidad y profundidad de los mismos (para la renta fija en ambos lados del Atlántico se tomaron dos tramos de la curva, las rentabilidades diarias de las bolsas europea y americana con las medias aritméticas de todos los contituyentes de los índices, las divisas tradicionales con 20 tipos de cambio) por lo que se constata que el estudio es completo y genera valor respecto a otros estudios que se han comprobado en la extensa revisión de papers académicos y científicos expuestos a lo largo del presente trabajo. En cuanto a la herramienta metodológica, se utilizó el lenguaje de programación R, por ser el más adecuado para el tratamiento de datos estadísticos.

Se debe señalar que, los resultados obtenidos no se limitan a su simple lectura para aprobar o refutar la hipótesis, sino que se pone de relieve las posibles consecuencias de éstos en otras áreas de la economía o del derecho. Por ejemplo, tras el resultado del elevado riesgo de la inversión en criptomonedas, esta tiene posibles implicaciones para su consideración como divisa, derivado de la base teórica abordada en el marco teórico con relación al requerimiento de seguridad para la reserva de valor. Además, el análisis estadístico y descriptivo económico de los datos es muy profundo. Se resalta el

carácter leptocúrtico de las series de activos financieros, en especial las criptomonedas. Esta excesiva curtosis tiene importantes consecuencias para la gestión de riesgos financieros. Por tanto, la aseveración de un elevado nivel de riesgo en la inversión de criptomonedas queda ratificado (aparte de la desviación típica ya mencionada) por esta curtosis positiva excesiva, indicando la posibilidad de valores muy extremos en las colas.

Con relación a su consideración como divisa, se cree conveniente resaltar que, empíricamente, es evidente que las criptomonedas son una clase de activo, a pesar de su carácter emergente pero cada vez más utilizadas como inversión, incluso por inversores institucionales.

Las criptomonedas pueden considerarse monedas en tanto sirven como medio de intercambio, unidad de cuenta, son portátiles, duraderas, divisibles e intercambiables y por grupos de agentes económicos, empresas e instituciones son aceptadas como medio de intercambio. Sin embargo, no pueden considerarse dinero debido a que no reúnen la capacidad retención o reserva de valor en el tiempo y no son aceptadas por toda la sociedad. Además, se cree que pasará, un buen tiempo para que sean aceptadas por toda la sociedad, suponiendo se consoliden. En este punto, se presenta la discusión si el dinero puede ser privado o tiene que ser respaldado por una entidad pública. Para responder a esto, se vuelve a la teoría de Hayek o la ley de Gresham (financiero inglés del Siglo XVI), comentada en el trabajo, la cual señala que en un país en el cual circulan de forma simultánea dos tipos de moneda de curso legal y una de ellas es considerada por los agentes económicos como “buena” y la otra “mala”, la moneda mala finalizará expulsando a la buena. En este sentido, una futura línea de investigación puede ser si las criptomonedas son una reacción privada ante el deterioro del sistema monetario desde las divisas con respaldo de *commodities* hasta las monedas *fiat* de nuestros días y valorar el respaldo legal del poder público.

Es una costumbre general la estimación de parámetros de carácter financiero con pilares que descansan en el supuesto de normalidad. Ello es por dos razones: el teorema central del límite y debido a que los eventos normales son susceptibles de cumplir con el requisito de regularidad probabilística

(Ramírez & Chacón Arias, 2013). Los rendimientos del Bitcoin no son normales, por lo que los sistemas tradicionales de gestión de riesgos basados en la normalidad no son suficientes y requiere de modelos alternativos. No obstante, como dato positivo para los inversores en criptomonedas también se ha podido comprobar, con la muestra, su positiva asimetría en la distribución de rentabilidades.

Uno de los aspectos más destacados donde descansa la teoría de gestión de carteras (Markowitz, Portfolio selection, 1952) es el análisis de la covarianza o correlación entre los activos. Un dato muy importante, que se puede deducir de este estudio, es la independencia o muy escasa correlación de las rentabilidades del Bitcoin con el resto de los activos financieros. Esta constatación empírica es de enorme relevancia para los gestores de carteras para aprovechar la diversificación y poder plantear la inclusión del Bitcoin en la asignación de activos.

La presente tesis incorporó un ejercicio de optimización de carteras y una de las principales conclusiones es la inclusión de las criptomonedas en una cartera óptima maximizando el binomio rentabilidad y riesgo, junto a la bolsa de Estados Unidos y los bonos europeos. Es cierto que la asignación a las criptomonedas sería muy reducida (no alcanza un 0,5%) pero estarían en la cartera óptima teórica. Por tanto:

- La diversificación nos aporta un beneficio debido a que se obtiene un ratio de *Sharpe* muy superior a cualquier activo individual (0,91, muy superior a la renta fija europea con un 0,57).
- En el *asset allocation* o asignación estratégica se incluyeron únicamente 3 activos, entre los cuales están las criptomonedas, a pesar de su elevado riesgo individual y derivado de su reducida correlación con el resto de activos financieros.
- Por tanto, por el método científico y gracias al método empírico con la base de datos analizada, se puede afirmar que las criptomonedas son un activo apto para la gestión de carteras y que deben incluirse en las carteras y son una inversión apta para maximizar el capital financiero y el cumplimiento de los objetivos de

los inversores. A pesar de la elevada volatilidad individual de las criptomonedas, la volatilidad de la cartera será muy reducida.

La siguiente hipótesis planteada fue:

¿Se puede modelizar la cotización del precio del Bitcoin? Para dar respuesta a esta hipótesis, se planteó el análisis de la aplicabilidad de los modelos ARIMA sobre una serie temporal de BTC (bitcoin). Se siguió la metodología de Box y Jenkins para la modelización (con el software R) de la dependencia existente donde cada observación en un momento dado es modelada en función de los valores anteriores. El modelo pretende la descripción del valor como una función lineal de datos anteriores y errores debidos al azar. El modelo puede incluir un componente estacional (el cual se cree no existe en este caso) y a nivel metodológico se siguieron los pasos necesarios con relación a las transformaciones a la serie para conseguir que sea estacionaria y los errores en forma de ruido blanco.

Tras la metodología estadística, estudio de la estacionariedad, transformaciones, estudios de autocorrelación, se definió el modelo AR1

$$X^{\lambda}_t = \mu + \phi X^{\lambda}_{t-1} + a_t$$

Y para la corrección de la violación de la condición de estacionariedad en media:

$$X^{\lambda}_t - X^{\lambda}_{t-1} = \phi(X^{\lambda}_{t-1} - X^{\lambda}_{t-2}) + a_{t-t-1}$$

Mediante la observación de los resultados se concluye que el parámetro autorregresivo es muy poco relevante en la explicación del modelo, sobre todo si se tiene en cuenta $\pm 2\sigma$ asumiendo normalidad. Si se evalúa la significatividad del parámetro utilizando la librería de R `lmtest`, se concluye que *el componente autorregresivo no es muy influyente en el valor futuro del Bitcoin BTC según este modelo*. Se realizaron los estudios de los residuos y autocorrelaciones de los mismos (funciones de autocorrelación, simple y parcial), para la comprobación de la condición de proceso estacionario de ruido blanco, y para la profundización del conocimiento del modelo, se introdujo una variable relativa al volumen de operaciones en el mercado del Bitcoin. El modelo que mejor funciona (se entiende por funcionar mejor el modelo con variables no correlacionadas más significativas y que en mayor medida reduce el ruido blanco de los residuos)

contempla el volumen de operaciones de los días t, t-1 y t-2 a escala logarítmica, lo cual establecería el modelo con la siguiente formulación:

$$X^{\lambda}_t = X^{\lambda}_{t-1} + \phi(X^{\lambda}_{t-1} - X^{\lambda}_{t-2}) + \beta_1[\log(V_t) - \log(V_{t-1})] + \beta_2[\log(V_{t-1}) - \log(V_{t-2})] + \beta_3[\log(V_{t-2}) - \log(V_{t-3})] + a_{t-t-1}$$

Donde:

- V_t : Volumen de miles de millones operaciones en el mercado BTC durante t.
- β_i : Coeficientes de las variables volumen.

En la solución práctica ajustamos el modelo:

$$X^{\lambda}_t = X^{\lambda}_{t-1} + \phi(X^{\lambda}_{t-1} - X^{\lambda}_{t-2}) + \beta[\log(V_{t-2}) - \log(V_{t-3})] + a_{t-t-1}$$

Y se estiman los parámetros. Se realizó análisis e identificación de los datos extremos u *outliers*.

El modelo final consta de los siguientes parámetros:

Coefficients:								
ar1	Volumen_log_t	Volumen_tmenos1	Volumen_tmenos2	LS248	LS1034	TC507	A0247	
-0.0328	3.4644	1.1821	1.0467	33.2785	25.6278	20.8654	-8.7189	
s.e.	0.0311	0.7007	0.6971	0.7020	5.5063	3.9384	3.6769	3.9625

El error absoluto medio (MAPE) conseguido por el modelo es del 8%. Este valor no aporta realmente información, sino que para ello se debe colocarlo en relación a un *benchmark naïve*, como puede ser un modelo que se limite a predecir el valor del día siguiente; si se hace esto, se encuentra que el error es del 0.08%, un 1% del obtenido con el modelo Arima. En consecuencia, *concluye esta investigación que el modelo Arima no es un buen modelo para la predicción de la cotización BTC-USD, ya sea porque se trata de una variable que describe un camino aleatorio o porque las relaciones que subyacen no son lineales.*

Debido a la conclusión anterior, se procedió a utilizar otras metodologías estadísticas aprovechando otros lenguajes de programación con técnicas no lineales (en este caso, redes LSTM, debido a que no precisan la serie sea estacionaria). Estos modelos si capturan patrones estacionales, no lineales y no precisan del cumplimiento teórico de estacionariedad. Sin embargo, tiene la debilidad, como todo modelo basado en el deep learning, que son modelos de

“caja negra” no explicativos. Son muy acertados en cuanto a capacidad predictiva, pero incluso en ciertas ocasiones no es factible saber las variables que llevaron al modelo a prever un resultado.

La tecnología y el software de tratamiento de datos han transformado las prácticas científicas. Sin duda, las nuevas tecnologías dejan palpable su impacto en la técnica estadística dentro del análisis de las series temporales. El denominado *deep learning* posibilita la potencia de las redes neuronales artificiales para la elaboración de modelos. Las redes neuronales artificiales son estructuras con algoritmos que posibilitan elaborar modelos compuestos con diversas capas de procesamiento para, a partir de las mismas, realizar las modificaciones lineales y no lineales para generar un *output* de una capa desde la anterior (Alonso Rodriguez, 2019). Es decir, lo que se busca con las redes neuronales aplicadas a las series temporales es aprender y “descubrir” el futuro de la variable a partir del pasado:

$$X_{t+1} = f(x_1, x_2, \dots, x_t)$$

Con el modelo y el propósito de creación de un modelo eficiente de previsión del precio del Bitcoin, se intenta profundizar en su conocimiento y modelizar un algoritmo con las librerías mencionadas. En el trabajo se siguieron todos los pasos recomendados: procesamiento y limpieza de los datos para eliminar ruido o inconsistencia de los mismos, normalización de los mismos, partición de los mismos para el “training and testing” para la creación del algoritmo, creación de la arquitectura de la red, definición de la metodología de evaluación con la media de las diferencias cuadráticas entre valores observados y previstos y optimización del modelo mediante el ajuste de los parámetros. No obstante, a pesar de ello, el objetivo de modelización del precio del Bitcoin parece muy complicado debido a la volatilidad extrema. Resulta muy difícil la generalización del modelo y las métricas obtenidas (MSE, error cuadrático medio) no son satisfactorias, a pesar que el modelo no aparenta “*overfitting*”).

Por tanto, en la tentativa del establecimiento de una relación dinámica en el tiempo entre el precio pasado y el futuro del precio del Bitcoin las hipótesis resultaron falsas. Las hipótesis formuladas no ofrecen resultados concluyentes

por lo que según la investigación el precio del Bitcoin sigue un camino aleatorio.
¿Por qué?

- Podría ser que existiese estacionalidad. Fue una de las hipótesis planteadas al tener las criptomonedas la característica de su exclusividad de cotización los fines de semana. La hipótesis fue falsa y no se detectó ninguna otra posible estacionalidad, aunque no se puede descartar.
- Existen factores influyentes y aunque se utilizaron indicadores de alta frecuencia es muy difícil modelizar. Por ejemplo, el precio de la electricidad, sobre todo en países subdesarrollados; como se ha analizado en el papel de las criptomonedas como activo ESG, necesitan electricidad como *input* para su minado. Hasta mediados 2021, la mayoría de la minería Bitcoin estaba en China debido a que su electricidad era muy barata. Posteriormente el gobierno chino prohibió la minería de criptomonedas.
- Un factor muy difícil de modelizar (y de inmensa importancia) es el volumen de intermediación de las criptomonedas (Recordar el “efecto red” de la ley de Metcalfe). No obstante, una de las principales características de las criptomonedas y su tecnología Blockchain es su opacidad. ¿Cómo modelizar el volumen y número de usuarios del dinero negro o sucio utilizado para financiar actividades delictivas?
- Posteriormente, existen circunstancias ajenas al mercado que son los shocks de confianza, como el reciente escándalo (al escribir estas líneas) de situación concursal de FTX, una de las principales plataformas de intercambio de criptomonedas.
- Además, la carencia de consolidación aún del escenario regulatorio.

La tesis también abordó factores exógenos que afectan a los cryptoactivos, como es su consideración como inversiones responsables (los aspectos cualitativos ESG representan variables fundamentales entre los factores decisorios de los gestores de carteras), los aspectos psicológicos que influyen en los inversores (el denominado *behavioural finance*) y el escenario regulatorio que actualmente se configura.

Con relación al primer aspecto, la tesis abordó las consideraciones sobre las dudas de los gestores si las criptomonedas son inversiones responsables ante la introducción de esta tecnología en su universo de activos potencialmente invertibles. Las criptomonedas ofrecen factores positivos y negativos.

Entre los primeros, las ventajas sociales derivadas de la democratización de los mercados financieros que ofrecen las criptomonedas (por ejemplo, reducción de los costes de las transferencias) y el anonimato que reporta seguridad para los usuarios que pueden residir en países opresivos.

Entre los segundos, el más relevante es la externalidad negativa derivada del coste medioambiental de las criptomonedas. Existe a nivel global una gran presión política por parte de instituciones internacionales públicas y privadas para la protección del cambio climático (como comentamos en la tesis tras el Acuerdo de París y manifestaciones del Foro Económico Mundial) y el perjuicio que el Bitcoin ocasiona es de los aspectos más controvertidos e influye para su consideración, no ya como inversión ESG, sino para su aprobación. Existen estudios que equiparan el consumo energético del Bitcoin como el de países enteros. La concienciación de la externalidad y la necesidad de la reducción de la huella de carbono para la consolidación de la industria como *asset class* han redundado en movilizaciones de los actores principales de la industria como la CCA (*Crypto Climate Accord*). Se concluye que la transición de la industria financiera a la digital es un hecho indetenible. Según estudios empíricos, la cuota de las energías renovables en la industria del Bitcoin es de un 78% reduciendo notablemente la huella de carbono por lo que la externalidad no será un impedimento para la adopción de las criptomonedas como *asset class*.

Por otra parte, es un reto para la industria, y análisis abordado por la presente tesis, la transición digital y la RSC (responsabilidad social corporativa). La digitalización es el motor de cambio en el sector financiero, pero introduce dudas por el posible efecto negativo en la productividad. Los estudios empíricos científicos analizados demuestran que la digitalización es positiva para la transformación empresarial. Se considera un error de los activistas neo-luditas el supuesto efecto negativo de los avances tecnológicos en el trabajo, puesto que no lo elimina, lo transforma (y es cierto que algunas veces se sustituye por

la inteligencia artificial, fenómeno denominado singularidad) y en realidad la relación entre el desarrollo tecnológico y digital y el bienestar laboral es exponencialmente convergente: la tecnología incide positivamente en la riqueza mundial, en la convergencia del nivel de vida, el bienestar general humano y su esperanza de vida como se ha medido y demostrado desde hace décadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

La tesis analizó con profundidad y concluye, apoyada en estudios de otros investigadores, las ventajas en la RSC derivadas de la mejora de la eficiencia y democratización en las transacciones internacionales. El valor añadido al desarrollo económico también se manifiesta en su carácter descentralizado y efecto en la denominada economía colaborativa, su infalibilidad gracias al Blockchain (sustitución del internet de la información por el internet del sistema monetario) y por último la privacidad de las transacciones.

Las criptomonedas, como moneda socio-empresarial digital, ofrecen ventajas. Existen numerosas empresas con su propia divisa interna empresarial, otorgándose por prácticas de compañerismo y resultados propios de su función, siendo válida para servicios otorgados por la propia compañía (en este sentido son ejemplo las grandes tecnológicas americanas de *hardware*, *software* o redes sociales). A la costumbre de premiar con tokens virtuales por prácticas respetuosas con el medioambiente se le llama “actividades *ecofriendly*”. Por tanto, las denominadas monedas sociales digitales están al alza (como predijo Hayek en 1976 en su obra *La desnacionalización del dinero*) y se encuentran enraizadas en multitud de corporaciones. Ello otorga externalidades positivas a colaboradores directos (posibilita mayor remuneración sin riesgo de mayor fiscalidad o presiones inflacionistas) y, asimismo, con relación a RSC 3.0, también otorga beneficios en materias medioambientales y sociales. Igualmente, al proporcionar un nuevo método para registrar información de forma más abierta y con mayor seguridad, la tecnología blockchain podría resultar de enorme utilidad en cuestiones como la trazabilidad de la cadena de suministro, la distribución de energía renovable, la lucha contra el blanqueo de capitales y la delegación del voto. Posiblemente no reciba la misma atención en prensa que los criptoactivos, pero podría dar pie a posibilidades muy interesantes para

ayudar a las empresas a resolver los problemas de sostenibilidad que afrontan actualmente.

La industria financiera se caracteriza por su elevada regulación. Las criptomonedas, por su carácter emergente y el lento proceso legislativo conllevan que la regulación de los criptoactivos sea, al menos, incierto en muchas jurisdicciones. Los criptoactivos están en conflicto con la regulación y la consolidación regulatoria es fundamental para la definición del *asset class* e incluso para la supervivencia del activo. Por ello, la presente tesis tiene este carácter bicéfalo económico-jurídico. Desde el punto de vista de investigador ha resultado apasionante el repaso jurídico de los enfoques de las distintas jurisdicciones por el reto que supone a reguladores y legisladores. Con los criptoactivos, los supuestos y bases legales pre-existentes, en todos los ámbitos: desde aquellos que regulan el patrimonio, los brokers y los intermediarios, acción punitiva de las autoridades son difícilmente extrapolables y no son eficientes en el mundo virtual. El derecho positivo carece de eficiencia con los *smart contracts*, transacciones financieras no reversibles y la existencia de anonimato entre las partes. El estado del arte en los aspectos jurídicos es primario. Es entendible, es una tecnología nueva respecto a la cual el derecho positivo tiene pocas aplicaciones. Con la aparición del dinero electrónico no existió conflicto alguno con la aplicación de la ley tradicional (los destinatarios ya estaban regulados anteriormente ya que la innovación jurídica se centró en la banca). Con las criptomonedas, en cambio, los conceptos legales pre-existentes, desde los relativos a la propiedad, brokers, liquidación, entre otros, son de difícil extrapolación (S.Graf, 2015).

Por tanto:

- Desde el punto de vista del derecho público, los aspectos más relevantes son los relativos a la regulación y la fiscalidad. Como el Bitcoin y el resto de las criptomonedas es un sustitutivo del dinero, las administraciones han comenzado (finalmente) a dibujar el escenario regulatorio. Las primeras iniciativas regulatorias se centraron en los aspectos conceptuales de los criptoactivos.

- Desde el punto de vista del derecho penal, los aspectos relevantes son los relativos al blanqueo de capitales, robo de criptoactivos, chantajes en la red y temas relativos a la protección de datos.

Por tanto, el desafío legislativo más relevante con los criptoactivos es la definición de su naturaleza jurídica y su tipología. Además, el carácter transnacional de los mismos y los distintos actores pueden estar domiciliados en jurisdicciones distintas. Es posible que nunca en la historia fuese tan necesario un consenso internacional en materia regulatoria.

El escaso respaldo legal (unido a su elevada volatilidad que imposibilita su consideración como reserva de valor) de las criptomonedas es uno de los principales obstáculos para poder considerarlo una divisa. No hay duda de su viabilidad para ser un activo financiero, a pesar de que en el momento de redacción de estas letras la criptoconomía vive su momento “*Lehman Brothers*” tras la quiebra de FTX, una de las principales plataformas de comercio de criptomonedas. Por ahora, sólo el Salvador y la República Centroafricana han adoptado el Bitcoin como moneda de curso legal.

Es muy difícil prever el futuro de un fenómeno tan disruptivo como los criptoactivos, cuántas criptomonedas sobrevivirán en el largo plazo de las miles actualmente existentes. A priori, parece más consolidada la tecnología Blockchain. La tecnología blockchain fue aplicada por primera vez con el desarrollo de Bitcoin en el 2009. Desde ese momento, diversos usos como la gestión de administración sanitaria o la verificación de identidad digital por poner ejemplos han encontrado utilidad en la capacidad de almacenar y la ejecución de código informático que posibilita Blockchain. La supervivencia de la tecnología no depende de la aplicación a los criptoactivos.

Futuras líneas de investigación

Los criptoactivos, sin duda alguna, generarán apasionantes líneas de investigación. Su estado es aún incipiente e inmaduro. Los criptoactivos y su tecnología subyacente representan uno de los principales efectos disruptivos, amenazas y oportunidades para el sistema financiero y monetario de la historia.

La afición por las criptomonedas se extiende por todo el mundo y escasos fenómenos generan la inmensa expectativa que las criptomonedas que utilizan Blockchain. Según la Encuesta global de consumidores de Statista, en países como India, Corea del Sur, Estados Unidos y Alemania, el número de intermediarios y tenedores de criptomonedas creció de forma significativa durante los dos últimos años.

Para el futuro, es fundamental volver a examinar la posible relación dinámica en el tiempo en el precio de las criptomonedas una vez esté consolidado el escenario regulatorio. Las criptomonedas carecen de fundamentales subyacentes (respaldo administrativo, inflación, tipos de interés, economía) y de hecho los países que han adoptado un uso masivo de las criptomonedas ha sido huyendo de la devaluación de sus divisas oficiales nacionales. De hecho, los criptoactivos pueden entenderse como un “grito de libertad” del sistema monetario ante el monopolio de las monedas de curso legal. Como diría Hayek, las empresas privadas deberían ser autorizadas a emitir sus propias formas de dinero y decidir cómo hacerlo por su propia cuenta. Tener una base jurídica al menos debe reducir la inmensa volatilidad que experimentan, sin duda una de sus principales desventajas (Hayek, 1976).

En el presente análisis empírico no se ha encontrado correlación de la rentabilidad de las criptomonedas con otros tipos de activos. Puede parecer intuitivo para un inversor invertir en activos alternativos cuando el resto ofrecen escasa rentabilidad. Obvio no ha sido el escenario los últimos años (principalmente bolsa americana) pero si la renta fija. En el momento de la redacción de estas líneas se está en un momento de normalización monetaria por parte de los Bancos Centrales. Se cree que un ejercicio de interés científico para incrementar el conocimiento del perfil cripto volver a investigar estas correlaciones una vez finalizado dicho proceso. Como se ha comentado, es interesante continuar investigando si las criptomonedas son una reacción privada ante el “monopolio” de las divisas de curso legal fiat en un contexto de crisis financiera y miedos incluso de ruptura del euro en la coyuntura de la crisis de la deuda soberana de Grecia en el 2009. Es muy interesante aprovechar la coyuntura del fenómeno monetario para seguir la línea iniciada por la ley de Gresham, su reverso con la ley de Thiers (Rolnick & Weber, 1986).

En este sentido, una futura línea de investigación es el aprovechamiento del fenómeno cripto para contrastar del teorema regresivo de Mises (Von Mises, 1912), el cual es uno de los principales referentes de la escuela austriaca. Esta teoría se engloba dentro de las teorías explicativas que aporta la escuela austriaca sobre el nacimiento del dinero. Estas teorías aportan una visión temporal de la evolución del dinero, donde el dinero comienza teniendo valor por su uso no monetario y se demanda gracias a la confianza del mantenimiento de su valor. El Bitcoin no tiene valor no monetario, ¿limita o invalida la teoría?

Por otro lado, uno de los aspectos o factores que se cree que más impulsará el uso de los criptoactivos será el fenómeno del metaverso. En este sentido, el metaverso no quiere ser una realidad paralela sino un universo extendido de nuestra propia realidad (denominado realidad aumentada), por lo que el metaverso dibujará el escenario social futuro en cuanto a la forma de relaciones con el entorno y la consolidación de la economía virtual misma. Una línea de investigación debe ser el papel de las criptomonedas en el fenómeno del metaverso.

Del mismo modo, un aspecto fundamental para seguir investigando es la evolución de las criptomonedas con la aparición de las denominadas CBDC (monedas digitales de Banco Central), es una forma de dinero fiduciario digital que es emitido por el banco central de un país y por tanto tiene valor de curso legal las cuales obvio son competencia de las criptomonedas. Las CBDC se encuentran en distintas fases de desarrollo en todo el mundo y generan controversias sobre la soberanía financiera y el control del dinero y poder adquisitivo sobre la población.

Finalmente, uno de los estudios recientes más brillantes y con una nueva línea de investigación sobre los factores que explican la demanda de criptoactivos (Magner & Hardy, 2023) analiza 11 factores y concluye que la atención de los inversores es la más importante (lo mide por la volatilidad diaria del Bitcoin) y que ella aumenta la demanda por otras criptomonedas. Creen la demanda no está influenciada por factores técnicos o fundamentales y creen que el futuro para desarrollar algoritmos de negociación son metodologías multivariantes.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- A.Tucker, J. (2014). What gave bitcoin its value? *Foundation for Economic Education*, August 27.
- Academia Finanzas. (2023). *Roams Finanzas*. Recuperado el 28 de Febrero de 2023, de <https://finanzas.roams.es/academia/criptomonedas/>
- Agila Suarez, R. J. (2019). *El Bitcoin: Crecimiento y desarrollo de la criptomoneda y su inclusión como alternativa de pago y medio de intercambio en la economía ecuatoriana, período: 2014-2018*. Universidad de Guayaquil.
- Akar, S., & Akar, E. (2020). Is it a New Tulip Mania Age?: A Comprehensive Literature Review Beyond Cryptocurrencies, Bitcoin, and Blockchain Technology. *Journal of Information Technology Research*, 13_44-67.
- Akyildirim, E., Goncu, A., & Sensoy, A. (2021). Prediction of cryptocurrency returns using machine learning. *Annals of Operations Research*, Vol. 297, pages 3-36.
- Alabi, K. (2017). Digital blockchain networks appear to be following Metcalfe's Law. (págs. 23-29). Elsevier.
- Alessandretti, L., ElBahrawy, A., Aiello, L. M., & Baronchelli, A. (2018). *Machine Learning the Cryptocurrency Market*. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3183792> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3183792>.
- Alonso & Perossa. (2021). *Dinero fiduciario, dinero virtual y criptomonedas: Semejanzas y diferencias*. Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Alonso Rodriguez, A. (2019). Análisis de las series temporales a la luz de Deep Learning. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, LII (2019) 257-276.
- Alvarado. (27 de 10 de 2020). *Blog Bruula Financiera*. Recuperado el 2 de Marzo de 2023, de <https://www.rankia.pe/blog/alfas-gestion-carteras-inversion/4760925-primera-aproximacion-metodo-valuacion-criptomonedas>
- Amanintia, A. (2019). Analisis volatility spillover harga Bitcoin dengan harga altcoin tahun 2013-2018. *JASA*, Vol 3 No 2 Agustus 2019 .
- Andersen, T. G., T. Bollerslev, F., Diebold, X., & Ebens, H. (2001). The distribution of realized stock return volatility . *Journal of Financial Economics*, Volume 61, 43-76.
- Andreessen, M. (21 de 1 de 2014). Why Bitcoin Matters. *The New York Times*.
- Anglès Juanpere, B. (2019). La fiscalidad de Bitcoin en España. *Crónica Tributaria*, Num 173 (7-35).
- Arbolea Rodríguez-Rovira, C. (2018). *Nuevas tecnologías en el mundo empresarial: el Blockchain, con especial énfasis en las criptomonedas, su regulación, riesgos y oportunidades*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas-TFG.

- Arias, L. C., Carmona, W. C., & Ramos, J. L. (2019). Las criptomonedas y su aporte a la diversificación de carteras. *Universidad ESAN*.
- Armknrecht, F., Karame, G., & Mandal, A. (2015). Ripple: Overview and Outlook. *Conference paper*, DOI:10.1007/978-3-319-22846-4_10.
- Arroyo, Díaz & Encina. (2019). *¿Qué sabemos del blockchain?* Madrid: CSIC - Catarata.
- Arruñada, B. (2018). Limitaciones de blockchain en contratos y propiedad. *Revista Crítica de Derecho Inmobiliario*, vol. 94, núm. 769, 2018, pp. 2465-93.
- Auer, R., & Claessens, S. (2018). *Regulación de las criptomonedas: evaluación de reacciones del mercado*. Informe trimestral del BPI.
- Autor, D. H., Dorn, D., & Hanson, G. H. (2016). The China Shock: Learning from Labor-Market Adjustment to Large Changes in Trade. *Annual Review of Economics*, Volume 8, pp 205-240.
- Aya & Ospina. (2019). *Revisión De Literatura Sobre Psicología Del Consumidor: Una*. Recuperado el 26 de Febrero de 2023, de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2981/Aya_Antornio_Jeimy_Lorena%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bailey, B. (1998). *The Luddite Rebellion*. Sutton Pub ISBN 9780750913539.
- Bal, A. M. (2014). *Taxation of virtual currency. Doctoral thesis*. ISBN 9789462036901: Leyden University, Faculteit der Rechtsgeleerdheid.
- Bălășoiu, N. (2021). Perspectives on the Integration of Cryptocurrencies into National Tax Legislation. *Scientia Moralitas - International Journal of Multidisciplinary Research*, 6(1), 40–47. <https://doi.org/10.1177/009164717300100101>.
- Barrero Saavedra, C. (2021). *Regulación aduanera del comercio electrónico transfronterizo y sociedades de comercialización internacional junior en Colombia*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Barzola García, W. J. (2019). Rendimiento esperado en criptomonedas bajo el modelo de valoración de activos de capital – 2020. *Universidad César Vallejo*.
- Batres-Estrada, G. (2015). Deep learning for multivariate financial time series. *KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY*.
- BBVA. (2023). *BBVA*. Recuperado el 10 de Marzo de 2023, de <https://www.bbva.com/es/salud-financiera/que-son-las-finanzas-conductuales-y-como-usarlas-para-invertir-mejor/>
- BCE. (2021). El Eurosistema pone en marcha el proyecto de un euro digital. Frankfurt.
- Bedecarratz Scholz, F. (2018). Riesgos delictivos de las monedas virtuales: Nuevos desafíos para el derecho penal. *Revista chilena de derecho y tecnología*, Vol.7 Pags 79-105.
- Benazco Ángel, J. W., & García Machiñena Morell, G. (2021). *Proyecto Cardano, tercera generación de criptomonedas*. Tenerife: Universidad de La Laguna.
- Berentsen, A. (2018). A Short Introduction to the World of Cryptocurrencies. *Federal Reserve Bank of St. Louis REVIEW*, (págs. 5-7).

- Berg, C., Davidson, S., & Potts, J. (2019). *Understanding the Blockchain Economy*. Elgar.
- Bermejo, P. (2014). *Neuroeconomía*. Colección acción empresarial LID.
- Blasco-Martel & Riera i Prunera. (2016). *La Teoría Cuantitativa del Dinero. la demanda de dinero en España 1883-1998*. Madrid: Banco Central de España.
- Block, W. (2013). Regression theorem and bitcoin. *Mises Wire*, December 29.
- BoJ. (2020). *Technological Challenges in having Central Bank Digital Currencies Function as Cash Equivalents*. Tokio.
- Bolotaeva, O. S., A. S., & Alekseeva, S. (2019). The Legal Nature of Cryptocurrency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, doi:10.1088/1755-1315/272/3/032166.
- Borri, N., & Shakhnov, K. (2019). Regulation Spillovers across Cryptocurrency Markets.
- Braaten, C. N., & Vaughn, M. S. (2019). Convenience Theory of Cryptocurrency Crime: A Content Analysis of U.S. Federal Court Decisions. *Deviant Behavior*, 42:8, 958-978.
- Brogada, M. A., Sison, A. M., & Medina, R. P. (2019). Cryptanalysis on the Head and Tail Technique for Hashing Passwords. *IEEE 7th Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*, 137-142.
- Burgos, M. (2020). El ahorro de divisas como objetivo de la política industrial. *Realidad económica*, vol.49 num.329.
- Burnie, A., Burnie, J., & Henderson, A. (2018. Vol 3). Developing a Cryptocurrency Assessment Framework: Function over Form. *Ledger*, <https://ledgerjournal.org/ojs/index.php/ledger/article/view/121>.
- Business School Cambridge University. (2023). Recuperado el 4 de Marzo de 2023, de <https://ccaf.io/cbeci/index>
- Buzzi, A. M., Cittadini, M. E., & Oliveira, M. M. (2018). *Introducción a las criptomonedas*. San Luis. Argentina: XXXIX Jornadas Nacionales de Profesores Universitarios. FCE, Universidad Nacional de la Plata.
- Cabeza-Nieto, A. H., Gil-Lázaro, B. A., & Rolón-Rodríguez, B. M. (2019). Análisis de la evolución de la Criptomoneda Bitcoin en Colombia entre el 2010 y 2018. *Revista Convicciones*, Vol.6 Num 12.
- Cagli, E. C. (2019). Explosive behavior in the prices of Bitcoin and altcoins. *Finance Research Letters*, 398-403. vol. 29.
- Cáliz, N. (2020). *Comercio Electrónico: Bitcoins*. Bogotá: Universidad del Rosario-TFG.
- Camacho, E. E. (2018). Las criptomonedas, el futuro de la economía mundial. *Expediitio-UTADEO*, <https://www.utadeo.edu.co/es/noticia/destacadas/expeditio/264566/las-criptomonedas-el-futuro-de-la-economia-mundial>.
- Cañar Uyaguari, J. C., & Jara Jara, R. V. (2022). *Análisis y desarrollo de una aplicación de registro de permisos y ausentismos sobre una Blockchain*

mediante un Smart Contract desplegado en una testnet de Ethereum. Ecuador: Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.

- Carrera-López, J. S., Sánchez-Lunavictoria, J. C., & Loza-Torres, A. G. (2021). El uso de las criptomonedas como nueva forma de pago en la economía mundial. *FIPCAEC*, Vol. 6 Núm. 5 (2021): Diciembre
<https://doi.org/10.23857/fipcaec.v5i5.228>.
- Carrillo Cuellar, S. (2021). *Efectos jurídicos, económicos y operativos de un criptoactivo implementado por parte del banco central en Colombia*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia-Tesis.
- Cassinello, N., Cervera Conte, I., Ibáñez Jiménez, J. W., & López del Villar, C. (2018). El desarrollo de las soluciones Fintech en España. *ICADE-Revista de la Facultad de Derecho* , <https://doi.org/10.14422/icade.i101.y2017.002>.
- Castaño, Y. (02 de Febrero de 2022). *La Vanguardia*. Recuperado el 30 de Enero de 2023, de <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20220224/8077279/cometio-mayor-robo-criptomonedas-ether-investigacion-desenmascara-ladron-pmv.html#:~:text=Todo%20empez%C3%B3%20el%20mes%20de,%20de%20Ethereum%2C%20The%20DAO>.
- Castillo Mur, A. (2020). *Las criptomonedas en el sistema financiero internacional. Un análisis predictivo mediante técnicas de Machine Learning (LSTM)*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Celis Gutiérrez, E. d. (2022). *Derechos fundamentales y tecnología Blockchain*. león: Universidad de León-TFM.
- Chaim, P., & Laurini, M. (2018). Volatility and return jumps in bitcoin. *Economics Letters. Elsevier*, vol. 173(C), pages 158-163.
- Cheah, E.-T., & Fry, J. (2015). Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin. *Economics Letters*, Volume 130, pages 32-36.
- Ciaian, P., Rajcaniova, M., & Kancs, A. (2016). The economics of BitCoin price formation. *Applied Economics*, Volume 48.
- Clayton, J. (2017). *Statement on Cryptocurrencies and Initial Coin Offerings*. SEC (Securities and Exchange Commission of the US).
- CNMV. (2021). *Comunicado conjunto de la CNMV y del Banco de España sobre el riesgo de las criptomonedas como inversión*. Madrid.
- Cóccaro, A. M., & Rosso, H. P. (2021). Tratamiento contable de los activos digitales: regulación en Europa, América y Asia. *Universidad Nacional de la Plata (UNLP)- XVII Simposio Regional de Investigación Contable*.
- Coinmarketcap. (2023). Recuperado el 25 de Enero de 2023, de <https://coinmarketcap.com/>
- Commission, S. S. (2020). *Accredited Investor Definition, SEC Rule 501 a 5*. SEC.
- Commission, S. U. (2020). *SEC Charges Ripple and Two Executives with Conducting \$1.3 Billion Unregistered Securities Offering*. <https://www.sec.gov/news/press-release/2020-338>.

- Conley, J. P. (2017). Blockchain and the Economics of Crypto-Tokens and Initial Coin Offerings. *Vanderbilt University* (págs. 2-4). Vanderbilt University Working Paper Series.
- Contreras Jiménez, V., & Puerto Sierra, M. P. (2020). El Bitcoin como activo refugio en época de crisis del mercado bursátil por la pandemia del Sars Cov-2 (Covid 19). *Repositorio Dspace-Universidad Católica Luis Amigo* .
- Cortés Durán, J. P., & Hernández Vega, J. C. (2021). *Eficiencia del mercado de criptomonedas y planteamiento de estrategias de trading basadas en arbitraje y machine learning*. Colombia: Universidad de los Andes.
- Criptonoticias. (2023). *¿Qué es el Análisis Fundamental (AF) en el mercado de bitcoin y las criptomonedas?* Recuperado el 12 de Marzo de 2023, de <https://www.criptonoticias.com/criptopedia/que-analisis-fundamental-af-mercado-bitcoin-criptomonedas/>
- Cruz, R. G. (2018). *LA IRRUPCIÓN DEL SANDBOX REGULATORIO: PROPUESTAS PARA LAS FINTECH ESPAÑOLAS*. Funcas-Cuadernos de información económica.
- Cuenca Díaz, A. M. (2021). *Bitcoin y criptomonedas, ¿la nueva forma de dinero?, Bolivia y Latinoamérica en un entorno globalizado*. Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés-Tesis de Grado.
- Arroyo Guardado, J. D. (2019). *¿Qué sabemos del blockchain?* Madrid: CSIC.
- Delgado, A. (2018). *La sociedad hiperdigital: Las 10 fuerzas que cambiarán nuestras vidas*. Libros de cabecera.
- Dewey, J. (2021). *Blockchain&Cryptocurrency regulation 2021*. Global legal insights.
- Diffie, W., & Hellman, M. E. (1976). New Directions in Cryptography. *IEEE Transactions on Information Theory* , Vol. 22 N°6.
- Digiconomist. (2023). Recuperado el 4 de Marzo de 2023, de https://digiconomist-net.translate.google/bitcoin-energy-consumption?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc
- Dorati, Y., Ruda, R., & González, I. (2020). Panorama Global de las criptomonedas y su desarrollo en Panamá . *Universidad Latina de Panamá- Gente Clave*, 4 (1), 129-144.
- Dowling, M., Cummins, M., & Lucey, B. M. (2016). Psychological barriers in oil futures markets. *Energy Economics*, Volume 53, Pages 293-304.
- Du, K.-L., & Swamy, M. (2013). *Neural Networks and Statistical Learning*. Springer London. ISBN: 978-1-4471-5570-6.
- Edison, H., Gagnon, J. E., & William Melick. (1997). Understanding the empirical literature on purchasing power parity: the post-Bretton Woods era. *Journal of International Money and Finance, Elsevier*, vol. 16(1), pages 1-17.
- Elendner, H., Trimborn, S., Ong, B., & Lee, T. M. (2018). The Cross-Section of Cryptocurrencies as Financial Assets: An Overview. *Handbook of Blockchain, Digital Finance, and Inclusion, Volume 1*, 145-173.

- Emmanouil Platanakis, A. U. (2019). Should investors include Bitcoin in their portfolios? *The British Accounting Review*, 52.
- España, B. d. (2022). *Informe de Estabilidad Financiera. Primavera*. Madrid, España: Servicio de Estudios.
- España, B. d. (s.f.). *Preguntas y respuestas frecuentes sobre política monetaria*. Madrid: www.bde.es.
- España, G. d. (2020). *Proyecto de Ley 121/3 para la transformación digital del sistema financiero*. Madrid: BOE.
- Faggart, E. (19 de 06 de 2014). Bitcoin value: the nature and origin of money. *Coin Brief*.
- Farell, R. (2015). *An Analysis of the Cryptocurrency Industry*. Penn Libraries-University of Pennsylvania.
- Fernández Salguero, R. A. (2021). *Series temporales avanzadas: aplicación de redes neuronales para el pronóstico de series de tiempo*. Granada: Universidad de Granada: Máster Universitario de Estadística Aplicada.
- Ferrari, V. (2020). The regulation of crypto-assets in the EU – investment and payment tokens under the radar. *Maastricht Journal of European and Comparative Law*, Vol 27, Issue 3, 2020.
- Fierro, A. A. (2021). *Predicción de series temporales con redes neuronales-Tesis*. Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata.
- Fischer, T., & Krauss, C. (2018). Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions. *European Journal of Operational Research*, Volume 270, Issue 2, Pages 654-669.
- Flores, J., & Flores, R. (2018). La Enseñanza del Diagrama de Caja y Bigotes para Mejorar su Interpretación. *Bases de la ciencia* , Vol.3-Num1.
- Fonseca, F. d., Ribeiro Santiago, M., & Amorín, M. (2019). Criptomonedas. Un dialogo necesario entre el sistema monetario actual y el desarrollo sustentable. *Revista Brasileira de Direito* , Vol.15. Nº2. págs. 5-29.
- Frenkel, J. A., & Razin, A. (1987). The Mundell-Flemming Model: A Quarter Century Later. *IMF Economic Review*, Volume 34, pp 567-620.
- FSB, F. S. (2022). *FSB issues statement on the international regulation and supervision of crypto-asset activities*. <https://www.fsb.org/2022/07/fsb-issues-statement-on-the-international-regulation-and-supervision-of-crypto-asset-activities/>.
- Fuentes M., V. (2019). *Adopción de criptomonedas y aplicaciones Blockchain en el sistema financiero*. Universidad de Chile.
- Fumero Perdomo, Y., González Mesa, B., & Castro Robayna, C. (2018). *Análisis de la evolución y perspectivas de futuro de las criptomonedas: bitcoin y ripple*. Tenerife: Universidad de La Laguna.
- Fundspeople. (24 de Febrero de 2021). AVENUE INVESTMENT CRYPTO: ASÍ ES EL PROYECTO PROFESIONAL DE ARNE VAAGEN, FRANCISCO GORDILLO Y

MARTÍN HUETE. págs. https://fundspeople.com/es/avenue-investment-crypto-asi-es-el-proyecto-profesional-de-arne-vaagen-francisco-gordillo-y-martin-huete/?utm_source=sfmc&utm_medium=email&utm_campaign=Newsletter_Diaria_Spain_2021022408012/24/2021&utm_term=https%3a%2f%2ffundspe.

- G20. (2019). G20 Osaka leaders' declaration. https://www.mofa.go.jp/policy/economy/g20_summit/osaka19/en/.
- Galeano, S. (22 de Marzo de 2018). Recuperado el 13 de Agosto de 2018, de <https://marketing4ecommerce.net/asi-funciona-ripple-coin/>
- Galeano, S. (26 de Marzo de 2018). *Marketing Encommerce*. Recuperado el 04 de Febreo de 2019, de <https://marketing4ecommerce.net/asi-funciona-ripple-coin/>
- Gallardo, F. (2022). *Cryptoeconomics and cryptoassets*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Gallardo, I., Bazán, P., & Venosa, P. (2019). Análisis del anonimato aplicado a criptomonedas. *SEDICI: Repositorio Institucional de la UNLP*, XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) (Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, 14 al 18 de octubre de 2019).
- Gandal, N., & Halaburda, H. (2014). Competition in the Cryptocurrency Market. *CEPR Discussion Paper No. DP10157*.
- García García, I. d. (2020). Blockchain y el mercado de valores: regulación y comparativa internacional de las ICO. *ICADE-Repositorio Universidad Pontificia de Comillas*, TFG.
- García Peña, J. H. (2018). La regulación del comercio: retos ante el cambio tecnológico. *Revista IUS*, vol.12, n.41, pp.43-70.
- García, P. (2017). Teoría del Mercado Eficiente. *Harvard Deusto business review*(271), 8-14.
- García-Ramos Lucero, M. A., & Rejas Muslera, R. (2022). Análisis del desarrollo normativo de las criptomonedas en las principales jurisdicciones: Europa, Estados Unidos y Japón. *IDP: revista d'internet, dret i política*, 1-13, (35).
- García-Ramos Lucero, M. Á., & Rejas Muslera, R. (2022). Análisis del desarrollo normativo de las criptomonedas en las principales jurisdicciones: Europa, Estados Unidos y Japón. *IDP: Revista de internet, derecho y política*, Num 35. 1-13.
- Gil Soriano, A. (2018). Monedas virtuales: aproximación jurídico-tributaria y control tributario . *Actualidad Jurídica Uría Menéndez*, 48 (72-81).
- GIL, P. C. (2002). *Introducción a la Criptografía*. Grupo Editorial Ra-Ma.
- Glaser, F., Zimmermann, K., Haferkorn, M., Weber, C., & Siering, M. (2014). Bitcoin: asset or currency? *Twenty Second European Conference on Information Systems*. Tel Aviv.
- Gohwong, S. G. (2018). The State of the Art of Top 20 Cryptocurrencies. *Asian Administration & Management Review*, Vol. 1.

- Goitom, H. (2018). *Our New Reports on Regulation of Cryptocurrency Around the World*. Washington: In Custodia Legis-Law Librarians of Congress.
- Gómez Bermúdez, L. E., & Montoya Pérez, M. (2018). *Bitcoin y criptomonedas: retos legales, regulatorios y fiscales de los medios de pago virtuales*. Colombia: TFG-Institución Universitaria de Envigado.
- González Soltero, V. M. (2014). *Análisis sobre el origen, comportamiento y crecimiento del mercado del Bitcoin*. Mexico: COLPOS Colegio de Posgraduados-Tesis.
- Gu, R., & Meech, J. (2014). Bitcoin-The " New Gold" for a " Safe - Haven" Investment? *Sustainable Industrial Processing Summit, SIPS 2014 Volume 1: Mining*.
- Guisande González, C., Vaamonde Liste, A., & Barreiro Felpeto, A. (2013). *Tratamiento de datos con R, Estadística y SPSS*. Diaz de Santos.
- Hayek, F. A. (1976). *La desnacionalización de la moneda*. Biblioteca de Economía.
- Hens, T., & Meier, A. (2016). *La psicología de la inversión*. Credit Suisse- White Paper.
- Heo, J.-P., Lee, Y., He, J., Chang, S.-F., & Yoon, S.-e. (2012). Spherical hashing. *Computer Science*.
- Hernandez, J. M. (2018). Criptomonedas y Aplicación en la Economía. En L. Garvia. Madrid: ICADE Business School.
- Hernández-Bejarano, M., & García Mandaloniz, M. (2020). El rol de la moneda y criptomoneda social en el nuevo contexto económico social y digital. *CIRIEC-España: Revista jurídica de economía social y cooperativa*, Num. 37, 283-323.
- Hitam, N. A., & Ismail, A. R. (2018). Comparative Performance of Machine Learning Algorithms for Cryptocurrency forecasting. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 11(3), 1121-1128.
- Hughes, S. D. (2017). CRYPTOCURRENCY REGULATIONS AND ENFORCEMENT IN THE UNITED STATES. *Western State Law Review*, 1–28.
<https://heinonline.org/HOL/P?h=hein.journals/wsulr45&i=7%0Ahttps://heinonline.org/HOL/PrintRequest?handle=hein.journals/wsulr45&collection=journals&div=4&id=7&print=section&scion=4>.
- Hurtado Cuellar, A. D., & Gracia Torres, J. A. (2019). *Factores que influyen en el comportamiento del Bitcoin y su volatilidad*. Colombia: Uniagustiniana.
- Huynh, T. L., Hille, E., & Nasir, M. A. (2020). Diversification in the age of the 4th industrial revolution: The role of artificial intelligence, green bonds and cryptocurrencies. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 159.
- IG. (2023). Obtenido de <https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/las-5-mejores-criptomonedas-ecologicas-221206>
- Indah Setiawati, V. (2020). *Analisis Volatilitas Spillover pada Cryptocurrency Menggunakan Egarch Model (Studi pada Bitcoin dan Altcoin : Ethereum, XRP, Tether, Litecoin)*. Indonesia: Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Inozemtsev, M. (2020). Digital Assets in the United States: Legal Aspects. *Engineering Economics: Decisions and Solutions from Eurasian Perspective*, pp 514-522.

- Iriondo Alegría, J. M., Torres, E., & Escudero Alcántara, A. (2008). Métodos para analizar variables continuas y categóricas. *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones*, págs. 183-213.
- IRS. (2021). *Notice 2014-21-Internal Revenue Service*. IRS <https://www.irs.gov/pub/irs-drop/n-14-21.pdf>.
- J.Crowder, W. (2003). International Evidence of the Fisher Relation. *University of Texas at Arlington*.
- Jiang, S., Li, Y., Lu, Q., Hong, Y., Guan, D., Xiong, Y., & Wang, S. (2021). Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. *Nature Communications*, Article number: 1938 (2021).
- Katsiampa, P. (2017). Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models. *Economics Letters*, vol.158.
- Keynes. (1943). *Teoría General de la Ocupación, el Interés y el Dinero*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Kimoto, T., & Asakawa, K. (1990). Stock Market Prediction System with Modular Neural Networks . *International Joint Conference on Neural Networks*, 1, 1–6.
- Kochling, G., Schmidtke, P., & Posch, P. N. (2020). Volatility Forecasting Accuracy for Bitcoin. *Economics Letters*, Volume 191.
- Konowicz, D. R. (2018). The New Game: Cryptocurrency Challenges US Economic Sanctions. *DEFENSE TECHNICAL INFORMATION CENTER*.
- Krivtsov, A. I. (2019). *Taxation of Digital Financial Assets (Lecture Notes in Networks and Systems)*. Springer.
- Kurzweil, R. (2005). *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. ISBN: 9781101218884: Penguin Group.
- Lakomski-Laguerre, O., & Desmedt, L. (2015). L'alternative monétaire Bitcoin : une perspective institutionnaliste. *Maison des Sciences de l'Homme. Revue de la régulation: Capitalisme, institutions, pouvoirs*, 18 | 2e semestre / Autumn 2015 : Contestations monétaires. Une économie politique de la monnaie.
- Lam, P. N., & Lee, D. K. (2015). Introduction to Bitcoin. *Research Collection Lee Kong Chian School Of Business*, 5-30.
- Lamothe & Lamothe. (Agosto de 2020). La Valoración de las Criptomonedas. Especial Referencia al caso Bitcoin. *Boletín de Estudios Económicos*, LXXV(230), 201-217.
- Lamothe Fernández, P. (2020). La valoración de las criptomonedas. Especial referencia al caso del Bitcoin. *Boletín de Estudios Económicos*, Vol. LXXV - N.º 230-Páginas 201-217.
- Lara Ortiz, M. L. (2017). La cultura financiera: fundamento y acciones públicas de fomento. *Actualidad jurídica iberoamericana-Repositori Universitat Jaume I*, nº7 p. 187-204.

- Lee, T. (2017). Metcalfe's Law. *Business Insider*.
- Lehner, E., Hunzeker, D., & Ziegler, J. R. (2017). Funding Science with Science: Cryptocurrency and Independent. *CUNY Academic Works (City University of New York)*,
https://academicworks.cuny.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1035&context=bx_pubs.
- Li, J.-P., Naqvi, B., Rizvi, S. K., & Chang, H.-L. (2021). Bitcoin: The biggest financial innovation of fourth industrial revolution and a portfolio's efficiency booster. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 162.
- Liang, C., Zhang, Y., Li, X., & Ma, F. (2020). Which predictor is more predictive for Bitcoin volatility? *International Journal of Finance & Economics* .
- Liu, W. (2019). Portfolio diversification across cryptocurrencies. *Finance Research Letters, Elsevier*, 200-205.
- Lizano Vargas, A. M., & Barrantes Espinoza, R. (2019). *Análisis de los aspectos que se involucran en las tres principales áreas: minado, comercio, y compra / venta de Criptomonedas en Costa Rica*. Costa Rica: Universidad Técnica Nacional .
- Lo, S., & Wang, J. C. (2014). Bitcoin as Money? *Federal Reserve Bank of Boston* , No. 2014-4.
- Lopera Echavarría, J. D., Ramírez Gómez, C. A., Zuluaga Aristazábal, M. U., & Ortiz Vanegas, J. (2010). El método analítico como método natural. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, vol.25. num1.
- López Domínguez, I., & Medina Melón, J. A. (2020). Análisis financiero de las nuevas monedas digitales (criptomonedas). *Revista Internacional Jurídica y Empresarial*, num. 3.
- López Miranda, L. (2019). Bitcoin: ¿Tenerla o ignorarla? Una aproximación hacia el tratamiento tributario peruano de la criptomoneda más famosa del mundo. *Ius et Veritas*, (58)-140-153.
- López-Herrera, F., Macías Trejo, L. G., & de la Torre Torre, O. V. (2020). Desempeño de ocho de las criptomonedas de mayor capitalización de mercado. *Universidad Autónoma Metropolitana*, Vol.10; Num.1.
- Luther, W. J. (2018). Is Bitcoin Intrinsically Worthless? *AIER Sound Money Project Working Paper No. 2018-07*.
- Ma, Y., Ahmad, F., Liu, M., & Wang, Z. (2020). Portfolio optimization in the era of digital financialization using cryptocurrencies. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 161.
- Magner, N., & Hardy, N. (2023). Factores que explican la demanda por criptomonedas: una aproximación desde el pronóstico financiero. *OCEC udp (Observatorio del Contexto Económico)*, nº23.
- Maldonado, J. P. (20 de Noviembre de 2019). Tokenización de activos: naturaleza jurídica del token y del activo. *Legaltoday.com*.
- Mancini, S., Scutoquazza, F., Gurméndez, L., Sotelo, R., Begérez, M., & Álvarez, G. (2021). Creación de una criptomoneda que funcione como token de utilidad

dentro de un ecosistema de empresas, permitiendo el pago de productos y servicios. *Memoria-Investigaciones en Ingeniería*, n.º 20, pp. 34-43.

- Mankiw, G. (1998). *Principios de Macroeconomía*. Madrid: McGraw-Hill.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*.
- Markowitz, H. (1976). Markowitz Revisited. *Financial Analysts Journal*. CFA Institute.
- Marrugat, J., Vila, J., Pavesi, M., & Sanz, F. (1998). Estimación del tamaño de la muestra en la investigación clínica y epidemiológica. *Instituto Municipal de Investigación Médica (IMIM). Unidad de informática médica*, 111: 267-276.
- Martí Miravalls, J. (2021). Criptoactivos y regulación: nueva normativa española y propuesta europea sobre Markets in Crypto-assets (MICA). *Revista española de capital riesgo*, Nº. 3, 2021, págs. 41-60.
- Martin, J. (2013). Lost on the Silk Road: Online drug distribution and the 'cryptomarket'. *Criminology and Criminal Justice*, 14(3):351-367
<https://doi.org/10.1177/1748895813505234>.
- Martinez Cruz, D. C., & Meneses Alfonso, X. (2021). *Tratamiento Contable Para Las Criptomonedas En Mexico, Chile, Japon Frente Al Manejo Propuesto En Colombia*. Colombia: UDEC-Universidad de Cundinamarca.
- Melguizo Moreno, C. A. (2019). *Ventajas y desventajas de las criptomonedas en la economía colombiana*. <http://hdl.handle.net/10654/35279>: Universidad Militar Nueva Granada.
- Mendoza, J. C. (2008). Demostración de cifrado simétrico y asimétrico. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 46-53.
- Menor, L. C., Carmona, W. F., & Ramos, J. L. (2019). Las criptomonedas y su aporte a la diversificación de carteras. *ESAN Graduate School of Business* .
- Middlebrook, S. T., & Hughes, S. J. (2014). Regulating Cryptocurrencies in the United States: Current Issues and Future Directions. *William Mitchell Law Review*, Volume 40; Article 11.
- Mikesell, R. F. (1994). The Bretton Woods Debates: A Memoir. *Essays in International Finance*, n.192.
- Ministros, C. d. (23 de Octubre de 2020). *Proyecto de Ley de medidas de prevención y lucha contra el fraude fiscal*. Madrid: BoE.
- Miranda, L. L. (2019). Bitcoin: ¿Tenerla o ignorarla? Una aproximación hacia el tratamiento tributario peruano de la criptomoneda más famosa del mundo. *IUS ET VERITAS*, 140-153. Num 58.
- Molina, D. I. (2016). *Fintech: Lo que la tecnología hace por las finanzas*. Profit Editorial .
- Mougayar, W. (2016). *The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology*. Wiley.
- Moya, R. V. (2020). Regulación y tributación de las criptomonedas en Japón. *Revista Quincena Fiscal num.4. Aranzadi*.

- Mueller. (1985). *lecturas de Macroeconomía*. México: CECSA.
- Muñoz, J. G. (2020). Crypto-investment' in International Economic Law: A First Sketch. *Global Jurist*, Volume 20.
- Naimy, V. Y., & Hayek, M. R. (2018). Modelling and predicting the Bitcoin volatility using GARCH models. *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, Vol.8 No.3.
- Nakamoto, S. (2009). Bitcoin: Un Sistema de Efectivo Electrónico Usuario-a-Usuario. https://bitcoin.org/files/bitcoin-paper/bitcoin_es_latam.pdf.
- Narain, A., & Moretti, M. (September 2022). Regulating Crypto: the right rules could provide a safe space for innovation. *Finance&Development-IMF*.
- Naranjo Valencia, S. (2019). Desafíos jurídicos que implica el pacto de criptomonedas como medio de pago en la celebración de un contrato de compraventa civil. Una mirada desde el neoinstitucionalismo. *Con-texto*, 99–114. DOI:<https://doi.org/10.18601/01236458.n50.07>.
- Navarro Cardoso, F. (2019). Criptomonedas (en especial, bitc6in) y blanqueo de dinero. *Revista electr6nica de ciencia penal y criminolog6a*, ISSN-e 1695-0194, N6. 21.
- Network, F. C. (1970). *BSA Bank Secrecy Act*. US Congress-FinCEN.
- Nieto Mart6n, A., & Garc6a-Moreno, B. (2021). Criptomonedas y derecho penal: m6s all6 del blanqueo de capitales. *Revista Electr6nica de Ciencia Penal y Criminolog6a*, (23), 17.
- Nieto Mart6n, A., & Garc6a-Moreno, B. (2021). Criptomonedas y derecho penal: m6s all6 del blanqueo de capitales. *Revista Electr6nica de Ciencia Penal y Criminolog6a*, ISSN-e 1695-0194, N6. 23, 2021.
- Novo Sanjurjo, V. (1991). *Estadística te6rica y aplicada*. UNED.
- Odlyzko, A., & Tilly, B. (2005). A refutation of Metcalfe's Law and a better estimate for the value of networks. *Digital Technology Center, University of Minnesota*.
- Omagari, T., & Sako, Y. (2019). Japan's New Crypto Regulation: 2019 Amendments to Payment Services Act and Financial Instruments. *K&L Gates*.
- Ordinas, M. (2017). *Las criptomonedas: ¿Oportunidad o burbuja?* Banca March.
- Otero & Oliver . (19 de Abril de 2022). Criptomonedas, stablecoins y la criptoconomía: el estado de la cuesti6n. (R. I. Elcano, Ed.)
- Pachecho Jim6nez, M. N. (2019). De la tecnolog6a blockchain a la econom6a del token. *Derecho PUCP*, NUM.83. 61 - 87.
- Pacheco Jim6nez, N. (2016). Criptodivisas: del Bitcoin al MUF6. El potencial de la tecnolog6a Blockchain. *Revista CESCO de Derecho de Consumo*, n619.
- Pascale & Pascale. (2011). *Teor6a de las Finanzas: Sus supuestos, neoclasicismo y psicolog6a cognitiva*. Universidad de la Republica de Uruguay, Uruguay.
- Pastor Sempere, C., & Madrid Parra, A. (2021). *Gu6a de Criptoactivos MICA* . Aranzadi.

- Pastor Sempere, M. d., Martínez Nadal, A., Blanco Sánchez, M. J., & Echebarría Sáenz, M. (2022). *Dinero digital y gobernanza TIC en la UE*. Pamplona, España: Aranzadi.
- Pérez Fernández, C. (2022). *Análisis criptomonedas*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Pérez López, X. (2017). Las criptomonedas: consideraciones generales y empleo de las criptomonedas como instrumento de blanqueo de capitales en la Unión Europea y en España. *Revista de derecho penal y criminología*, Num 18. 141–187.
- Pérez Silva, G. D. (2018). *Análisis de la evolución de la criptomoneda Bitcoin en el mundo entre el 2010 y el 2018*. Bogotá: Fundación Universidad de América. .
- Persky, J. (1995). Retrospectives: The Ethology of Homo Economicus. *The Journal of Economic Perspectives.*, 9(2), 221-231.
- Peterson, T. (2018). Metcalfe's Law as a Model for Bitcoin's Value. *Alternative Investment Analyst Review*, Q2 2018.
- Pilacuán Cadena, J., Espinoza Herrera, X., & Carreño Llaguno, S. (2021). *Criptomonedas: funcionamiento, oportunidades y amenazas*. Ecuador: Res Non Verba.
- Platanakis, E., & Urquhart, A. (2020). Should investors include Bitcoin in their portfolios? A portfolio theory approach. *The British Accounting Review*, 52.
- Pombo, N. (04 de Noviembre de 2021). Recuperado el 31 de Enero de 2023, de <https://www.bbva.com/es/que-diferencias-hay-entre-un-token-y-una-criptomoneda/>
- Pompian, M. M. (2012). *Behavioral Finance and Investor Types: Managing Behavior to Make Better Investment Decisions*. Wiley.
- Pompian, M. M. (2022). *The behavioural biases of individuals*. CFA Institute Curriculum.
- Prieto, M. (2020). *Historia de la criptografía*. La esfera de los libros.
- Prieto, M. J. (2020). *Historia de la criptografía*. La esfera de los libros.
- Quejido, V. R. (2019). Criptoactivos: naturaleza, regulación y perspectivas. *Observatorio de divulgación financiera-IEF*, Número 29.
- RAE. (2023). *Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/trazabilidad>
- Ramírez, J. C., & Chacón Arias, O. (2013). Los riesgos de no ser normal en finanzas. *Economía Mexicana. Nueva Época*, pp. 165-201.
- Retamal, C., Roig, J., & Muñoz Tapia, J. L. (2017). La Blockchain: fundamentos, aplicaciones y relación con otras tecnologías disruptivas. *Economía industrial*, nº405. Pags 33-40.
- Rincon Castro, J. C., & Bareño Forero, A. (2018). *Comparando la rentabilidad y el riesgo de los commodities y el bitcoin. ¿Qué opción es más rentable y de menor riesgo?* Bogota: Corporación Universitaria minuto de dios.

- Ripley, B. D. (1996). *Pattern Recognition and Neural Networks*. Cambridge University Press.
- Rísquez. (2006). *Keynes: la teoría cuantitativa y la no neutralidad del dinero*. (R. d. Sociales., Ed.) Recuperado el 16 de Marzo de 2023, de Recuperado en 22 de marzo de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-95182006000200009&lng=es&tlng=es.
- Rodriguez Bravo, A. A. (2020). *Análisis de la teoría de finanzas conductuales en el trading de Criptomonedas*. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Rodríguez Fernández, J. (2021). *La tributación y el control tributario de las criptomonedas en España*. <http://hdl.handle.net/20.500.12412/2363>- TFM: Repositorio Institucional de la Universidad Loyola.
- Rodríguez Juliani, E. (2021). *La inclusión en el sistema jurídico penal de los Bitcoins: Analisis de la sentencia TS 326/2019*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Rogers, E. (1962). *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press of Glencoe.
- Rojas, M. (2014). *El estudio científico de la felicidad*. Mexico DF: FONDO DE CULTURA ECONÓMICA (FCE).
- Rojas, M. P. (2018). *Blockchain y monedas virtuales: aproximación jurídica*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Derecho.
- Rolnick, A. J., & Weber, W. (1986). Gresham's Law or Gresham's Fallacy? *Journal of Political Economy*, Volume 94, Number 1.
- Romero Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, Vol. 6, Nº. 3, pág. 114.
- Rosov, S. (2015). Beyond Bitcoin. *CFA Institute Magazine*, Volume 26.
- Rozenberg, A. (2000). La balanza de pagos: instrumento de análisis y política económica. *Universidad Católica del Perú*, Documento de trabajo 190.
- Rueckert, C. (2019). Cryptocurrencies and fundamental rights. *Journal of Cybersecurity*, 1-12.
- Ruiz Garijo, M. (2021). El desafío de la fiscalidad de las criptomonedas. Las obligaciones de información en el IRPF. *Nueva fiscalidad* , nº3 págs. 19-36.
- Ruwitch, J., & Sweeney, P. (2013). China prohíbe a los bancos realizar transacciones con Bitcoin. Reuters.
- S.Graf, K. (2015). *Are Bitcoins Ownable?: Property Rights, IP Wrongs, and Legal-Theory Implications*. Konrad Graf Creative Commons.
- Sale, K. (1996). *Rebels Against The Future: The Luddites And Their War On The Industrial Revolution: Lessons For The Computer Age*. ISBN: 978-0201407181.
- Salter, A., & Luther, W. J. (2014). Synthesizing state and spontaneous order theories of money. *Advances in Austrian Economics*, 18: 161-78.

- Samolysov, P. (2020). LEGAL REGULATION OF CRYPTOCURRENCY MINING. *Law and Digital Economy*, 13–20 <https://doi.org/10.17803/2618-8198-2020-09-3-013-020>.
- Sánchez-Bayón, A. (2019). Transición a la Economía GIG. Claves de sociología empresarial y laboral. *Encuentros multidisciplinares*, Vol. 21, Nº 62, 2019.
- Sanchez-Bayon, A., & García-Ramos, M. A. (2021). A win-win case of CSR 3.0 for wellbeing economics: digital currencies as a tool to improve the personnel income, the environmental respect & the general wellness. *Revesco (Revista de Estudios Cooperativos)*.
- Sánchez-Terán Manzanedo, S. (2022). *Estudio del Bitcoin y el Blockchain como alternativa real al sistema monetario actual*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Sanz Bayón, P. (2020). Análisis sobre la naturaleza jurídica de las criptomonedas y la regulación europea de los proveedores de servicios de cambio y de custodia de monederos electrónicos. *Revista de derecho bancario y bursátil*, nº160 (69-110).
- Sanz-Bas, D., Rosal, C. d., Alonso, S. L., & Fernández, M. Á. (2021). Cryptocurrencies and Fraudulent Transactions: Risks, Practices, and Legislation for Their Prevention in Europe and Spain. *Laws MDPI*, 10(3), 57; <https://doi.org/10.3390/laws10030057>.
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Penguin Books Limited .
- Sedeño López, J. F. (2020). El control tributario de las criptomonedas: calificación jurídica, localización geográfica y pseudoanonimato. *Nueva fiscalidad*, nº1, págs. 207-233.
- Selgin, G. (2003). Adaptive learning and the transition to fiat money. *Economic Journal*, 113: 147-165.
- Selvin, S., Vinayakumar, R., Gopalakrishnan, E. A., Menon, V. K., & Soman, K. P. (2017). Stock price prediction using LSTM, RNN and CNN-sliding window model. *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*.
- Sen, J. (2021). *Machine Learning - Algorithms, Models and Applications*. IntechOpen ISBN: 978-1-83969-485-1.
- Sereda, I. (2020). Features of the legal regulation of cryptocurrency: a foreign response. *Вестник Сибирского Юридического Института МВД России*, 3,, 94-98- https://doi.org/10.51980/2542-1735_2020_3_94.
- Sharma, S., & Kaushik, B. (2017). Quantitative Analysis of Stock Market Prediction for Accurate Investment Decisions in Future. *Journal of Artificial Intelligence*, 11(1), 48–54. <https://doi.org/10.3923/jai.2018.48.54>.
- Statman, M. (2019). *Behavioural Finance*. Virginia (EEUU): CFA Institute Research Foundation.
- Sun, S.-F., & Au, M. H. (2017). A Compact Accumulator-Based (Linkable Ring Signature) Protocol for Blockchain Cryptocurrency Monero. *European*

- Tejerina, O. (2020). *Aspectos Jurídicos de la Ciberseguridad*. Madrid: Ra-Ma.
- Tesoro, S. G. (2020). *Ley 7/2020*. Madrid: BOE (https://www.tesoro.es/sites/default/files/resoluciuon_15122020_secretaria_general_tesoro.pdf).
- Tinoco, C. (2018). El valor de una criptomoneda. *debates/IESA*, Volumen XXIII-Número 2.
- Turbay Lopera, E., & Restrepo Ramirez, J. J. (2022). *¿La Revolución del Dinero? Determinantes, Funciones y Consideraciones de las criptomonedas*. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT.
- Urquhart, A. (2017). Price Clustering in Bitcoin. *Economic Letters, Elsevier*, 145-148.
- Velde, F. (2013). Bitcoin: a primer. *Chicago Fed letter*, 317: 1-3.
- Villamil Rodríguez, J. N., & Martínez Bolaños, W. (2019). Portafolios eficientes con diferentes medidas de riesgo : aplicación en criptomonedas. *Universidad ICESI*.
- Villoria Mendieta, M. (2021). Un análisis de la Directiva (UE) 2019/1937 desde la ética pública y los retos de la implementación. *Revista Española de la Transparencia*, Numero 12.
- Vliet, B. V. (2018). An Alternative Model of Metcalfe's Law for Valuing Bitcoin. *Economics Letters*.
- Von Mises, L. (1912). *La teoría del dinero y del crédito*. Unidad Editorial.
- Vranken, H. (2017). Sustainability of bitcoin and blockchains. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Volume 28, Pages 1-9.
- Walch, A. (2017). The Path of the Blockchain Lexicon (and the Law) . *St Mary's University. Faculty Articles*.
- Wei, W. C. (2018). The impact of Tether grants on Bitcoin. *Economics Letters*, Pages 19-22.
- White, L. H. (2015). The market for cryptocurrencies. *Cato Journal*, 35 (2), 383-402.
- Wirdum, A. V. (2017). The long road to Segwit: how Bitcoin's biggest protocol upgrade became reality. *Bitcoin Magazine*, <https://bitcoinmagazine.com/technical/the-long-road-to-segwit-how-bitcoins-biggest-protocol-upgrade-became-reality>.
- Wood, G. (2017). Ethereum: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger. *Byzantium Version*, <https://gavwood.com/paper.pdf>.
- Woodford, M. (2001). The Taylor Rule and Optimal Monetary Policy. *American Economic Review*, 91 (2): 232-237.
- Yermack, D. (2013). Is Bitcoin a Real Currency? An economic appraisal. *NBER-National Bureau of Economic Research, Working Paper 19747*.
- Zambrano Sánchez, J., Yepes Ruiz, S., Osorio, S. A., López Pérez, M. C., Rodríguez Arredondo, C. C., Carazo Parra, D. F., & López Montoya, J. D. (Rodríguez

Arredondo). Aspectos tributarios de las transacciones en criptomonedas: el caso de los bitcoins. *Revista Instituto Colombiano de Derecho Tributario*, 43-69.

Zibin Zheng, H.-N. D. (2017). An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future. Conference Paper.

Zolotareva, E. (2021). Applying Convolutional Neural Networks for Stock Market Trends Identification. *20th International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing Web System (ICAISC 2021)*.