

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
DOCTORADO

TESIS

DESCENTRALIZACIÓN FINANCIERA Y CRIPTOECONOMÍA
PERSPECTIVAS Y DESAFÍOS EN MODELOS FINANCIEROS
EMERGENTES

Alumno: Daniel Alberto Miliá

Director: Gustavo Norberto Tapia

Miembros del Tribunal de Tesis: María Teresa Casparri - Gastón Milanesi – Juan Andrés
Niño Peñalosa

Fecha de defensa: 03/09/2025

Dedicatoria

A mi familia, por su acompañamiento incondicional y por haber sido mi fuente de inspiración y fortaleza en cada etapa de este camino. A mi madre y hermano, por su apoyo inquebrantable y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis alumnos, por acompañarme con su constante apoyo y estímulo durante este desafío académico.

A mis amigos, quienes, con su apoyo y palabras de aliento, me han acompañado en este desafío, recordándome que siempre hay tiempo para compartir y desconectar.

A todos aquellos que creen en el poder del conocimiento y la educación como motores de transformación. Que este trabajo sea un pequeño aporte en la búsqueda constante del saber y la innovación, con la esperanza de contribuir a un futuro más equitativo y sostenible.

A la memoria de mi padre Alberto, cuya presencia sigue iluminando mi camino y cuyo legado vive en cada logro alcanzado.

Agradecimientos

A mi director de tesis, Dr. Gustavo Tapia, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación en cada etapa de este trabajo. Su compromiso con la excelencia académica y su confianza en mis capacidades han sido fundamentales en la realización de esta investigación.

A los miembros del tribunal de tesis, por su tiempo, sus valiosas observaciones y por enriquecer este trabajo con sus aportes.

A mis profesores y mentores, quienes, con su conocimiento y generosidad, han sido una guía fundamental en mi formación académica y profesional.

A mis colegas y compañeros de investigación, con quienes compartí largas jornadas de trabajo, ideas y desafíos, convirtiendo este proceso en una experiencia de aprendizaje enriquecedora.

A la Universidad de Buenos Aires, por ser una institución que promueve el pensamiento crítico, el acceso libre al conocimiento y la excelencia académica. Su rol como formadora de generaciones de profesionales e investigadores ha sido clave en mi desarrollo personal y profesional. Agradezco profundamente la posibilidad de haber transitado mi formación en un espacio donde la pluralidad de ideas, el compromiso con la sociedad y la rigurosidad científica son pilares fundamentales.

A los equipos administrativos y centros de documentación de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires, cuyo trabajo ha sido clave para facilitar el acceso a información y permitir el desarrollo de esta investigación en un entorno propicio para la producción de conocimiento. Su dedicación y eficiencia han sido fundamentales en el proceso de elaboración de esta tesis, brindando soporte tanto en lo académico como en lo institucional.

Índice general

Resumen	11
Introducción	13
Capítulo 1: Marco Metodológico.....	17
1.1 Planteo del problema	18
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo General	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	20
1.3 Hipótesis	21
1.3.1 Hipótesis General	21
1.3.2 Hipótesis Específicas	22
1.4 Metodología	23
1.4.1 Justificación del enfoque mixto	24
1.4.2 Organización de la recolección de datos.....	25
1.4.3 Análisis cuantitativo y cualitativo	26
1.4.4 Evaluación del sector energético y limitaciones	30
1.4.5 Alineación con objetivos e hipótesis	33
Capitulo 2: Marco Teórico: Las crisis bancarias y la descentralización financiera	35
2.1 Crisis Bancarias.....	36
2.2 Centralización bancaria.....	37
2.3 Reguladores bancarios	39
2.4 Dinámica de las crisis.....	45
2.5 Crisis bancarias revisitadas.....	58
2.5.1 Argentina.....	59
2.5.2 Estados Unidos.....	62
2.5.3 Resto del mundo	66
2.6 Hacia la descentralización financiera	68
2.6.1 Contratos Inteligentes y Tecnología Blockchain	70
2.6.2 Desarrollos descentralizados	72
2.6.3 Modelos de inteligencia artificial explicables.....	73
2.6.4 Modelos de redes neuronales.....	75
2.7 Consideraciones finales del capítulo.....	77

Capítulo 3: Arquitectura emergente de las finanzas descentralizadas	82
3.1 Conceptualización DeFi	83
3.2 Digitalización financiera	85
3.3 Estructura de las Finanzas descentralizadas	91
3.3.1 Smart Contracts	91
3.3.2 Blockchain	93
3.3.3 Criptomonedas	102
3.4 La paradoja de la descentralización	119
3.5 Aplicaciones productivas en las DeFi	121
3.6 Desafíos ambientales	125
3.7 Desafíos institucionales: regulación de criptoactivos	128
3.8 Consideraciones finales del capítulo	137
Capítulo 4: Modelización y desarrollo teórico	142
4.1 Parte I: Adopción de criptomonedas con fines transaccionales	143
4.1.1 Entorno de la propuesta	145
4.1.2 Muestra	148
4.1.3 Estimación y resultados	152
4.1.4 Pruebas de contraste	156
4.1.5 Consideraciones finales Parte A	158
4.2 Parte II: Propuesta de implementación de stablecoin	159
4.2.1 Entorno de la propuesta	160
4.2.2 Muestra	164
4.2.3 Estimación y resultados	167
4.2.4 Pruebas de contraste	180
4.2.5 Consideraciones finales Parte B	182
4.3 Perspectivas de evolución del ecosistema DeFi	183
4.4 Consideraciones finales del capítulo	187
Conclusiones y reflexiones finales	192
Referencias bibliográficas	205
Anexo A: Normativa cripto	228
A1. Normativa americana	228
A2. Normativa en la Unión Europea	231

A3. Normativa en Argentina	233
A4. Normativa en resto del mundo	236
Anexo B: Protocolos DeFi	239
Anexo C: Experiencias regulatorias internacionales	242
Anexo D: Impacto ambiental del ecosistema cripto	245

Índice de Tablas

Tabla 1.....	56
Tabla 2.....	107
Tabla 3.....	133
Tabla 4.....	133
Tabla 5.....	134
Tabla 6.....	135
Tabla 7.....	148
Tabla 8.....	150
Tabla 9.....	150
Tabla 10.....	151
Tabla 11.....	151
Tabla 12.....	153
Tabla 13.....	153
Tabla 14.....	153
Tabla 15.....	154
Tabla 16.....	156
Tabla 17.....	157
Tabla 18.....	157
Tabla 19.....	165
Tabla 20.....	165
Tabla 21.....	167
Tabla 22.....	168
Tabla 23.....	169
Tabla 24.....	170

Tabla 25.....	171
Tabla 26.....	171
Tabla 27.....	180
Tabla 28.....	180
Tabla 29.....	181

Índice de figuras

Figura 1.....	43
Figura 2.....	46
Figura 3.....	64
Figura 4.....	85
Figura 5.....	88
Figura 6.....	94
Figura 7.....	96
Figura 8.....	100
Figura 9.....	104
Figura 10.....	117
Figura 11.....	118
Figura 12.....	130
Figura 13.....	163
Figura 14.....	166
Figura 15.....	172
Figura 16.....	173
Figura 17.....	174
Figura 18.....	175
Figura 19.....	176
Figura 20	178

Glosario

Activos Digitales: Representaciones electrónicas de valor que pueden ser almacenadas y transferidas en una red blockchain. Incluyen criptomonedas, tokens de seguridad y stablecoins.

Algoritmo de Consenso: Protocolo que permite que los participantes de una red blockchain acuerden el estado de la red sin necesidad de intermediarios. Ejemplos incluyen Proof of Work (PoW) y Proof of Stake (PoS).

Aprendizaje Automático (Machine Learning): Subcampo de la inteligencia artificial que permite a los sistemas aprender y mejorar a partir de datos sin ser programados explícitamente. Se usa en la predicción de precios de criptoactivos y en la gestión de riesgos financieros.

Arbitraje Financiero: Estrategia de inversión que busca aprovechar diferencias de precio en diferentes mercados para obtener ganancias sin riesgo significativo. Se aplica en criptomercados y en plataformas DeFi.

Blockchain: Tecnología de registro distribuido que almacena transacciones en bloques encadenados de manera segura e inmutable.

Causalidad de Granger: Método econométrico que permite evaluar si una variable es útil para predecir otra en un modelo de series temporales.

Cointegración de Johansen: Técnica econométrica utilizada para analizar relaciones de largo plazo entre series temporales no estacionarias.

Contratos Inteligentes (Smart Contracts): Programas autoejecutables en la blockchain que permiten la ejecución automática de acuerdos sin intermediarios.

Crisis de Liquidez: Situación en la que un mercado o institución no puede cumplir con sus obligaciones de pago debido a una falta de liquidez en el sistema.

DeFi (Finanzas Descentralizadas): Ecosistema de aplicaciones financieras basadas en blockchain que operan sin intermediarios tradicionales, permitiendo préstamos, intercambios y otros servicios financieros descentralizados.

Fondos de Cobertura (Hedge Funds): Vehículos de inversión que utilizan estrategias avanzadas, como el apalancamiento y la cobertura, para maximizar los rendimientos ajustados al riesgo en mercados tradicionales y criptoactivos.

Interoperabilidad Blockchain: Capacidad de diferentes redes blockchain para comunicarse y transferir datos o activos entre sí. Soluciones como los puentes de cadena cruzada buscan mejorar la conectividad entre distintas plataformas.

LSTM (Long Short-Term Memory): Tipo de red neuronal recurrente (RNN) diseñada para capturar relaciones de largo plazo en datos secuenciales, como series temporales financieras.

Minería de Datos: Proceso de análisis de grandes volúmenes de datos para identificar patrones y relaciones significativas.

Modelos de Aprendizaje Supervisado: Algoritmos de machine learning entrenados con datos etiquetados para realizar predicciones.

Modelos de Aprendizaje No Supervisado: Algoritmos que identifican estructuras en los datos sin necesidad de etiquetas previas. Son útiles en la segmentación de clientes en plataformas DeFi y detección de patrones en mercados financieros.

Optimización Bayesiana: Método de ajuste de hiperparámetros en modelos de machine learning basado en el teorema de Bayes. Permite mejorar la eficiencia de modelos predictivos financieros.

Oráculos Blockchain: Sistemas que conectan contratos inteligentes con fuentes de datos externas, permitiendo la ejecución automatizada de acuerdos basados en información del mundo real, como precios de activos o condiciones macroeconómicas.

PCA (Análisis de Componentes Principales): Técnica estadística utilizada para reducir la dimensionalidad de conjuntos de datos manteniendo la mayor cantidad posible de variabilidad.

Proof of Stake (PoS): Mecanismo de consenso en blockchain donde los validadores son seleccionados según la cantidad de criptomonedas que poseen y están dispuestos a bloquear como garantía.

Proof of Work (PoW): Algoritmo de consenso que requiere que los mineros resuelvan problemas matemáticos complejos para validar transacciones en la blockchain.

Regresión Multivariante: Técnica estadística que modela la relación entre una variable dependiente y múltiples variables independientes.

Riesgo de Contraparte: Posible incumplimiento de una parte en una transacción financiera. En DeFi, los contratos inteligentes minimizan este riesgo al automatizar los acuerdos sin intermediarios.

Riesgo Sistémico: Riesgo de colapso de un sistema financiero debido a la interconexión de sus elementos y la propagación de crisis.

Series Temporales: Conjunto de observaciones ordenadas cronológicamente, utilizadas en modelos econométricos para identificar tendencias y patrones.

SHAP (SHapley Additive Explanations): Método de inteligencia artificial explicable que asigna valores de importancia a las variables de entrada en un modelo predictivo.

Smart Contracts: Programas autónomos basados en blockchain que cumplen condiciones previamente acordadas entre partes. Operan sin intermediarios, mejorando la eficiencia, la seguridad y la transparencia.

Stablecoin: Tipo de criptomoneda diseñada para mantener un valor estable al estar vinculada a un activo subyacente como el dólar o el oro.

Tokenización: Proceso de convertir derechos sobre un activo en un token digital en una blockchain. Se aplica a bienes inmuebles, arte y activos financieros.

Validación Cruzada: Técnica utilizada en machine learning para evaluar el rendimiento de un modelo dividiendo los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba.

Resumen

La presente investigación analiza el impacto de las finanzas descentralizadas (DeFi) en el sistema financiero global, evaluando su capacidad para transformar la intermediación financiera y su viabilidad como alternativa a los modelos centralizados. A partir de la eliminación de intermediarios, el uso de contratos inteligentes y la descentralización de la gobernanza, las DeFi prometen mayor eficiencia, transparencia e inclusión financiera. Sin embargo, su integración con el sistema financiero tradicional plantea desafíos en términos de regulación, volatilidad de los activos y riesgos de seguridad. El objetivo principal del estudio es determinar en qué medida las DeFi pueden reconfigurar el acceso a los servicios financieros, reducir costos de transacción y mejorar la estabilidad del sistema en el largo plazo.

Metodológicamente, la investigación combina un enfoque cualitativo y cuantitativo. Se lleva a cabo un análisis documental sobre crisis bancarias pasadas y su relación con la descentralización financiera, a la vez que se examinan series temporales de adopción de criptomonedas y plataformas para identificar patrones de comportamiento. Además, se utilizan modelos predictivos impulsados por inteligencia artificial para analizar la liquidez de los activos tokenizados y la dinámica de los flujos de inversión en ecosistemas descentralizados, complementando este estudio con una descripción detallada del marco regulatorio en diversas jurisdicciones.

Los resultados indican que las DeFi pueden reducir costos de intermediación, aumentar la liquidez de activos tokenizados y mejorar la previsibilidad de los mercados mediante modelos de inteligencia artificial. No obstante, enfrentan barreras como la falta de regulación homogénea y riesgos en la seguridad de los contratos inteligentes. Se concluye que la fragmentación normativa impide su integración total con el sistema financiero convencional y genera incertidumbre en los inversores. Asimismo, la volatilidad extrema de algunos cryptoactivos representa un obstáculo para su adopción generalizada.

Las principales limitaciones del estudio incluyen la falta de datos históricos consolidados y la rápida evolución de la tecnología, lo que dificulta generar conclusiones definitivas. Se recomienda que futuras investigaciones aborden la convergencia entre DeFi y la banca tradicional, la implementación de regulaciones adaptativas y el desarrollo de auditorías descentralizadas para fortalecer la seguridad del ecosistema.

En definitiva, este trabajo contribuye al estudio de las Finanzas descentralizadas proporcionando un marco de referencia para su análisis, regulación y posible integración en el sistema financiero global.

Palabras clave: Finanzas descentralizadas, Blockchain, Regulación Financiera, Tokenización

Códigos JEL: G15, G21, G28, O33

Introducción

El sistema financiero global ha experimentado múltiples transformaciones a lo largo de la historia, muchas de ellas impulsadas por crisis bancarias que han puesto en evidencia las debilidades de los modelos tradicionales de intermediación. La centralización de los servicios financieros, con bancos y entidades reguladoras como actores predominantes, ha sido una característica fundamental del sistema económico moderno. No obstante, este esquema ha demostrado ser vulnerable a fallas estructurales que han derivado en crisis de confianza, restricciones en el acceso al crédito y dependencia de entidades centralizadas que, en momentos de inestabilidad, requieren rescates estatales.

La crisis financiera global de 2008 marcó un punto de inflexión en la percepción de los sistemas financieros centralizados. La opacidad en la gestión de activos, el colapso de instituciones consideradas demasiado grandes para quebrar y la necesidad de intervención gubernamental para evitar un colapso sistémico generaron un profundo cuestionamiento sobre la sostenibilidad de este modelo. En este contexto, emergieron propuestas alternativas basadas en tecnologías descentralizadas, con el objetivo de ofrecer sistemas financieros más transparentes, accesibles y resilientes. Además, el desarrollo tecnológico y el auge del internet han facilitado la emergencia de soluciones basadas en la descentralización, eliminando la necesidad de intermediarios y ofreciendo alternativas más accesibles y eficientes a la banca tradicional.

Durante la última década, la creciente digitalización de la economía ha impulsado la exploración de alternativas al sistema financiero convencional. En este contexto, el desarrollo de tecnologías como la blockchain ha permitido la creación de infraestructuras descentralizadas que buscan eliminar intermediarios, reducir costos y mejorar la transparencia de las transacciones financieras. En este sentido, la emergencia de las finanzas descentralizadas representa una de las innovaciones más significativas en el ámbito financiero, con el potencial de transformar la forma en que se prestan y utilizan los servicios financieros en todo el mundo.

Las DeFi han surgido como una respuesta disruptiva a estos desafíos. Construidas sobre tecnologías de blockchain y contratos inteligentes, buscan eliminar intermediarios y proporcionar acceso global a servicios financieros sin la necesidad de bancos o entidades centralizadas. Mediante protocolos abiertos y descentralizados, los usuarios pueden

participar en mercados de préstamos, intercambios de activos y otros productos financieros con una mayor autonomía y menor dependencia de terceros. Sin embargo, el crecimiento de las DeFi también ha traído consigo desafíos significativos, como la falta de regulación, la volatilidad de los activos digitales y la vulnerabilidad a ataques cibernéticos.

A pesar de las oportunidades que presentan, el éxito de las finanzas descentralizadas dependerá en gran medida de su capacidad para abordar estos desafíos y adaptarse a las normativas existentes. En este sentido, resulta crucial analizar su impacto en el sistema financiero global, evaluando tanto sus beneficios como sus riesgos en pos de comprender cómo estas plataformas pueden integrarse en el sistema financiero tradicional y qué mecanismos pueden garantizar su seguridad y estabilidad a largo plazo.

El presente estudio analiza de manera integral el rol de las finanzas descentralizadas en el sistema financiero, partiendo del reconocimiento de que las DeFi representan una innovación fundamental en la manera en que se conciben y operan los servicios financieros, pese a que enfrentan barreras que pueden limitar su adopción masiva. La principal pregunta de investigación que guía este trabajo es: **¿Hasta qué punto las finanzas descentralizadas pueden transformar el sistema financiero global y cuáles son los principales desafíos que enfrentan en su consolidación?**

Para abordar esta pregunta, el estudio se estructura en torno a diversos objetivos específicos, entre ellos: analizar el papel de las DeFi en la mitigación de riesgos financieros, evaluar su impacto en la inclusión económica, examinar el marco normativo que las rodea e investigar cómo tecnologías emergentes como la inteligencia artificial pueden contribuir a su desarrollo. Estos objetivos se abordan mediante una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos, que incluyen el análisis de datos históricos, estudios de casos y simulaciones de modelos predictivos.

Desde una perspectiva teórica, esta investigación se fundamenta en diversas corrientes económicas y financieras que han estudiado la evolución de los sistemas monetarios, la descentralización y el impacto de las crisis en la estabilidad financiera. Se contrastan hipótesis que buscan determinar si las DeFi pueden reducir la recurrencia de crisis bancarias, si la falta de regulación representa una barrera insalvable para su adopción y si la integración de inteligencia artificial puede mejorar su eficiencia y seguridad.

La metodología utilizada combina un enfoque cualitativo y cuantitativo para abordar la complejidad del fenómeno. A través del análisis de estudios de caso, revisión documental y

modelos matemáticos, se examinan los principales aspectos de las Finanzas descentralizadas y su impacto en el sistema financiero. Asimismo, se incorporan herramientas de análisis de datos para evaluar la evolución y proyección de este ecosistema.

La relevancia de este estudio radica en su contribución al debate académico y práctico sobre el futuro de las finanzas. A medida que los gobiernos y organismos internacionales intentan regular estos nuevos esquemas financieros, resulta crucial comprender su potencial transformador y los riesgos que conllevan. Además, el análisis de este fenómeno cobra especial importancia en un contexto donde la digitalización de la economía y la creciente adopción de activos digitales están redefiniendo las dinámicas del mercado monetario.

El presente trabajo se organiza en cinco capítulos, además de la conclusión general. El primer capítulo presenta los fundamentos teóricos y metodológicos de la investigación, estableciendo los objetivos generales y específicos, las hipótesis de trabajo, el planteo del problema y la metodología utilizada para abordar la temática. Luego, en el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico y conceptual de las Finanzas descentralizadas, abordando su origen, evolución y principios fundamentales, así como los factores que han impulsado su desarrollo y los modelos en los que se basan.

El tercer capítulo explora los efectos de la descentralización financiera en los mercados tradicionales, analizando su impacto en la intermediación bancaria, la estabilidad financiera y la inclusión económica. Posteriormente, se enfoca en el marco regulatorio y normativo de las DeFi a nivel global, con un énfasis particular en la Unión Europea y otros mercados clave. Aquí se examinan los desafíos regulatorios, los intentos de supervisión y las perspectivas futuras de la regulación en este ámbito.

Finalmente, el cuarto capítulo analiza la aplicación de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y la tokenización de activos, presentando modelos predictivos y estudios de caso sobre la integración de estas innovaciones en el ecosistema financiero. La tesis concluye con un capítulo final que sintetiza los principales hallazgos de la investigación, contrastando las hipótesis planteadas y discutiendo las implicancias de los resultados para el futuro de las finanzas descentralizadas. Además, se proponen líneas de investigación futuras que permitan seguir explorando la evolución de este fenómeno y su impacto en el sistema financiero global.

En última instancia, esta investigación contribuye a la comprensión del rol de las finanzas descentralizadas dentro del ecosistema financiero y su potencial para redefinir los

paradigmas actuales. Si bien presentan oportunidades significativas, también enfrentan barreras que deben ser abordadas para garantizar su adopción a gran escala. La integración de estas innovaciones con el sistema financiero tradicional dependerá del desarrollo de regulaciones adecuadas, avances tecnológicos y un equilibrio entre descentralización y seguridad financiera.

Capítulo 1

Marco Metodológico

1.1 Planteo del problema

El entorno financiero contemporáneo se ha caracterizado por episodios de inestabilidad y una creciente percepción de opacidad en los sistemas bancarios tradicionales. Las crisis recurrentes han puesto en evidencia la fragilidad de los modelos centralizados, generando la necesidad de explorar alternativas que puedan ofrecer mayor transparencia, eficiencia y accesibilidad. En este contexto, la adopción de tecnologías basadas en registros distribuidos y la digitalización de activos han impulsado un cambio de paradigma, permitiendo el desarrollo de estructuras financieras que operan sin la intermediación de entidades centralizadas.

Sin embargo, a pesar del potencial disruptivo de estos sistemas, persisten desafíos clave que dificultan su integración plena en el mercado financiero global. La ausencia de marcos normativos estandarizados para la valuación contable de activos digitales y la incertidumbre regulatoria generan obstáculos significativos en la comprensión de su impacto económico y en la confianza de los inversores. La necesidad de establecer mecanismos de supervisión y normativas coherentes con esta evolución tecnológica es un factor determinante para su consolidación como alternativa viable dentro de los mercados de capitales.

El creciente interés en las finanzas descentralizadas responde a su capacidad para redefinir la configuración de los sistemas financieros tradicionales, promoviendo esquemas más inclusivos y accesibles. Investigaciones recientes, como las realizadas por Avgouleas y Kiayias (2020), han resaltado la relevancia de este fenómeno, al considerar que introduce un nuevo paradigma que desafía los modelos convencionales de intermediación financiera. La expansión de aplicaciones basadas en tecnología blockchain y contratos inteligentes ha permitido la reducción de costos operativos y una mayor eficiencia en la ejecución de transacciones, incentivando la exploración de nuevos modelos financieros que proyecten su aplicabilidad en distintos segmentos del mercado de capitales.

En este escenario de transformación, surgen interrogantes fundamentales sobre el alcance y la sostenibilidad de estas innovaciones en la economía global. En particular, es relevante analizar de qué manera la adopción de activos digitales y la descentralización financiera pueden influir en la evolución de los mercados financieros y en la formulación de políticas económicas. A partir de esta premisa, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la influencia de las finanzas descentralizadas y las criptomonedas en la economía global y en la adopción de nuevos modelos financieros que proyecten su uso y aplicabilidad?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Examinar de manera integral el impacto de las finanzas descentralizadas y las criptomonedas en el sistema financiero mundial y su relación con las crisis bancarias, profundizando en su capacidad para reconfigurar modelos financieros convencionales y promover la innovación en el ámbito financiero.

Para comprender el impacto de los modelos financieros emergentes en la estructura global, resulta fundamental analizar el estado actual del sistema financiero, identificando los problemas y desafíos que han surgido en los últimos años. Asimismo, es necesario revisar el contexto histórico de crisis bancarias significativas en distintas regiones, explorando sus causas y consecuencias. En este marco, se examinará la evolución y adopción de innovaciones tecnológicas aplicadas al ámbito financiero desde su creación hasta la actualidad, lo que permitirá establecer un punto de referencia para evaluar cómo estas crisis han afectado la economía mundial y la necesidad de soluciones que mejoren la confiabilidad y la transparencia del sistema.

El análisis se centrará en la evaluación de las principales características y ventajas que ofrecen estos nuevos esquemas, con especial énfasis en la tecnología blockchain, los contratos inteligentes y los activos digitales. Se describirán los principios fundamentales de esta infraestructura tecnológica, su marco productivo y su aplicación en el sector financiero, destacando beneficios clave como la transparencia, la reducción de intermediarios y la ampliación del acceso a servicios financieros. Además, se realizará un ejercicio comparativo con los modelos financieros tradicionales, explorando el potencial de estas innovaciones para transformar funciones bancarias fundamentales como el crédito, las inversiones, las transferencias y los pagos. En este sentido, se analizará la viabilidad de que estos servicios descentralizados mejoren la eficiencia y reduzcan costos en comparación con los esquemas tradicionales, particularmente en entornos sin la presencia de un regulador único.

A medida que se profundice en la capacidad de reconfiguración de los modelos financieros convencionales, se examinarán ejemplos concretos de instrumentos que han sido adoptados o desarrollados en este ámbito, evaluando su impacto y los resultados obtenidos. Con el

objetivo de impulsar la innovación en el sector financiero, se identificarán casos de éxito en la creación de nuevos modelos de negocio y productos financieros basados en tecnología blockchain. Asimismo, se analizará cómo la competencia entre los servicios financieros tradicionales y las alternativas emergentes está incentivando la innovación en el sector, y se estudiará el papel de desarrolladores, emprendedores y comunidades tecnológicas en la evolución y adopción de estas soluciones.

El estudio también abordará los riesgos y desafíos asociados con la adopción de estos sistemas, investigando los principales problemas en materia de seguridad, fraude y volatilidad. De igual manera, se explorarán los desafíos regulatorios y legales que enfrenta la adopción de nuevas tecnologías financieras a nivel global. Se examinarán algunas de las estrategias y regulaciones que han sido implementadas para mitigar estos riesgos, proporcionando un panorama integral de los obstáculos que deben superarse para lograr una adopción más amplia y segura.

Finalmente, se sintetizarán los hallazgos clave sobre el impacto de estas innovaciones en el sistema financiero mundial y se presentarán recomendaciones basadas en la investigación para mejorar la resiliencia del sistema financiero y fomentar la innovación continua. Se evaluará el potencial de estos modelos para contribuir positivamente en futuras crisis bancarias y en la evolución de la estructura financiera global, planteando una visión de futuro que integre estas tecnologías en el desarrollo del ecosistema financiero.

1.2.2 Objetivos Específicos.

1. Evaluar el papel de las finanzas descentralizadas en la mitigación de riesgos financieros y la promoción de la inclusión económica.
 - a. Investigar cómo las plataformas DeFi distribuyen y reducen el riesgo financiero.
 - b. Analizar casos donde las tecnologías de Blockchain y contratos inteligentes han sido utilizados abogando por mayor inclusión financiera en regiones subatendidas.
 - c. Estudiar la efectividad de los mecanismos de DeFi en comparación con los métodos bancarios tradicionales.

2. Investigar el marco normativo y contable de las criptomonedas y su influencia en la valoración financiera.
 - a. Revisar las regulaciones actuales sobre criptomonedas en diferentes jurisdicciones y su impacto en los mercados financieros.
 - b. Evaluar cómo diferentes enfoques contables afectan la perspectiva de valor de las criptomonedas.
 - c. Examinar la respuesta de las instituciones financieras tradicionales al marco regulatorio emergente de las criptomonedas.
3. Diseñar modelos predictivos utilizando inteligencia artificial para analizar la adopción de criptomonedas con fines transaccionales y el desarrollo de instrumentos financieros respaldados por commodities en el sector energético.
 - a. Identificar variables clave que influyen en la adopción de criptomonedas para transacciones económicas.
 - b. Especificar modelos predictivos que utilicen IA y machine learning para prever tendencias en la adopción de criptomonedas.
 - c. Desarrollar un caso de negocio, basado en el uso de un instrumento financiero digital apalancado en commodities en el sector energético y evaluar su eficacia.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis General

En el actual contexto de digitalización financiera y transformación de los mercados transaccionales, se plantea la hipótesis de que las estructuras descentralizadas y los activos digitales generarán un impacto disruptivo en la economía global. Se postula que estas innovaciones no solo reconfigurarán los modelos financieros tradicionales, sino que también impulsarán un proceso de innovación profunda en el sistema financiero, facilitando la aparición de nuevos productos y servicios. Esta evolución afectará significativamente la operatividad de las instituciones financieras, el acceso de los consumidores a los servicios bancarios y la gestión de activos y riesgos asociados a los mercados emergentes.

La eliminación de intermediarios y la automatización de transacciones a través de contratos inteligentes podrían optimizar la eficiencia y seguridad de los servicios financieros,

reduciendo riesgos operativos y fortaleciendo la estabilidad del sistema. Asimismo, la accesibilidad global de estos esquemas transaccionales puede fomentar la democratización de los servicios financieros, permitiendo la inclusión de sectores y regiones históricamente excluidos del sistema bancario tradicional, lo que ampliaría su participación en la economía mundial.

No obstante, la ausencia de marcos regulatorios y contables específicos para los activos digitales representa un desafío significativo. La falta de una normativa consolidada podría generar incertidumbre y volatilidad en el mercado, afectando tanto la adopción como la valorización de estos instrumentos financieros. Esta carencia regulatoria no solo impacta la confianza de los inversionistas, sino que también limita el desarrollo estructurado y sostenible del ecosistema de criptoactivos, dificultando su integración en los mercados financieros convencionales.

Finalmente, el uso de modelos predictivos basados en inteligencia artificial y otras tecnologías emergentes se proyecta como una herramienta clave para comprender y anticipar los patrones de adopción de activos digitales y estructuras descentralizadas. El análisis de grandes volúmenes de datos permitirá identificar tendencias de mercado y evaluar su potencial como instrumentos financieros respaldados por commodities, particularmente en sectores estratégicos como el energético. De este modo, se podrá obtener una visión más precisa y estratégica para la adopción y gestión de estos activos en distintos entornos económicos y financieros.

1.3.2 Hipótesis Específicas

1. Las finanzas descentralizadas poseen un rol clave en la reducción de la volatilidad financiera y en la democratización del acceso a servicios financieros. La eliminación de intermediarios y la utilización de contratos inteligentes automatizados pueden ofrecer servicios más eficientes y seguros, lo que mitiga los riesgos asociados y proporciona una mayor estabilidad al sistema financiero global, además de promover la inclusión económica.
2. La falta de una normativa regulatoria y contable clara y uniforme para las criptomonedas influye asimétricamente en su adopción y valorización dentro del mercado de capitales global. Esta ausencia de regulación homogénea a lo largo de las distintas geografías crea incertidumbre y volatilidad, afectando la confianza de

los inversores y obstaculizando un desarrollo estructurado y sostenible del mercado de activos digitales.

3. Los modelos predictivos basados en inteligencia artificial y otras tecnologías emergentes facilitan la comprensión de los patrones de adopción de criptomonedas y su uso potencial como instrumentos financieros respaldados por commodities en el sector de la energía. Estos modelos permiten analizar grandes volúmenes de datos para identificar tendencias y prever comportamientos del mercado, proporcionando una visión estratégica y analítica que potencia la toma de decisiones informadas. Además permiten profundizar nuestro entendimiento sobre las ventajas de adoptar las finanzas descentralizadas y en especial, las criptomonedas como vehículos de financiamiento.
4. Las tecnologías subyacentes a las finanzas descentralizadas y las criptomonedas fomentan la innovación y mejoran la eficiencia de los servicios financieros. El uso de blockchain y contratos inteligentes permite reducir significativamente los costos operativos y tiempos de transacción, además de mejorar la transparencia y la seguridad. Este aumento en la eficiencia y la reducción de sus costos asociados, tienen el potencial de transformar la manera en que se proporcionan y consumen los servicios financieros a nivel mundial.
5. La adopción de criptomonedas y finanzas descentralizadas impulsa la creación de mecanismos más robustos de seguridad y confianza dentro del ecosistema financiero. Al ofrecer un registro inmutable y transparente de transacciones, con mayor nivel de acceso, la tecnología blockchain puede combatir el fraude y la manipulación del mercado, consolidando un entorno financiero más seguro para todos los participantes. La seguridad inherente a estas tecnologías puede fomentar una mayor aceptación y confianza por parte de los usuarios e inversores en instrumentos que en el contexto de las instituciones financieras tradicionales podrían resultar poco atractivos.

1.4 Metodología

En consonancia con Mitkov (2020), quien expone la vulnerabilidad del sistema financiero centralizado en escenarios de crisis, esta investigación adopta un enfoque metodológico mixto (cuantitativo y cualitativo) para examinar de manera integral la influencia de las criptomonedas y las Finanzas descentralizadas (DeFi) en la economía global. A

continuación, se detallan cinco secciones que abarcan la justificación del enfoque, la organización de la recolección de datos, el análisis cuantitativo y cualitativo, la evaluación específica del sector energético y las limitaciones, así como la alineación de los métodos con los objetivos e hipótesis de la tesis.

1.4.1 Justificación del enfoque mixto

La complejidad de las DeFi y de los criptoactivos demanda una perspectiva que considere tanto las tendencias medibles como las percepciones subjetivas de los actores involucrados. Mientras los métodos cuantitativos (Smith & Kumar, 2020; Zhang et al., 2020) permiten analizar correlaciones, identificar patrones de adopción y establecer posibles relaciones causales, las técnicas cualitativas (Braun & Clarke, 2019) facilitan la comprensión de la confianza, las barreras culturales y la utilidad percibida de estos nuevos esquemas financieros. Así, la aproximación mixta responde a la premisa de Mitkov (2020) de explorar soluciones alternativas a la banca tradicional y, al mismo tiempo, a la hipótesis de que la descentralización podría mitigar los riesgos de las crisis económicas (Fernández-Villaverde & Sanches, 2021).

La complejidad del ecosistema financiero descentralizado requiere una combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos para obtener un análisis holístico de su funcionamiento y su impacto en la economía global. En particular, la aplicación de modelos de redes neuronales y la inteligencia artificial explicable (XAI) han cobrado relevancia en la investigación financiera, proporcionando una comprensión más profunda de los patrones subyacentes en la adopción de criptoactivos y su relación con indicadores macroeconómicos.

El uso de inteligencia artificial explicable permite reducir la opacidad de los modelos de predicción tradicionales, asegurando que las decisiones generadas por algoritmos de machine learning puedan ser interpretadas y justificadas. Herramientas como SHAP (SHapley Additive Explanations) y LIME (Local Interpretable Model-Agnostic Explanations) facilitan la identificación de variables clave que influyen en la valoración de activos tokenizados y en la confianza de los inversionistas en plataformas DeFi.

Por otro lado, el empleo de redes neuronales profundas en la predicción de tendencias de mercado permite detectar correlaciones no evidentes entre la volatilidad de criptoactivos y eventos macroeconómicos. En particular, las redes neuronales convolucionales (CNN) han

demostrado ser eficaces en la clasificación de datos financieros complejos, mientras que las redes neuronales recurrentes (RNN), incluyendo arquitecturas como LSTM (Long Short-Term Memory), han sido utilizadas para modelar la evolución temporal de precios de criptomonedas y stablecoins.

La combinación de estos enfoques metodológicos asegura una comprensión más precisa de la dinámica de los mercados descentralizados y su impacto en la estabilidad financiera global. Además, permite evaluar la viabilidad de estrategias de mitigación de riesgos a través del diseño de activos digitales con menor volatilidad y mayor adopción en sectores tradicionales de la economía.

Asimismo, sigue el principio de complementariedad (Creswell & Plano Clark, 2018), maximizando la capacidad explicativa del estudio al integrar perspectivas numéricas y cualitativas, respetando lineamientos éticos generales de investigación, considerando buenas prácticas en diseño mixto y recolección de datos.

1.4.2 Organización de la recolección de datos

En primer lugar, se realizó una revisión de literatura que articula la fragilidad de la banca centralizada (Mitkov, 2020) con los conceptos de resiliencia que aporta la descentralización (Fernández-Villaverde & Sanches, 2021). Posteriormente, se diseñó un cuestionario distribuido en Google Forms y aplicado a 10.000 individuos mediante muestreo aleatorio, siguiendo las pautas de privacidad y consentimiento informado sugeridas por Mason et al. (2021). El formulario incluyó variables como edad, género, nivel educativo, acceso a servicios financieros, conocimiento de criptoactivos y utilización de instrumentos financieros. Se complementó con datos institucionales, informes regulatorios y series de precios de commodities energéticos (Refinitiv), con el propósito de comparar la volatilidad de criptomonedas (Karnouskos, 2021) con activos tradicionales (Zhang et al., 2020). Además, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con reguladores, desarrolladores DeFi y usuarios de criptomonedas, siguiendo la metodología de guion flexible de Braun y Clarke (2019), a fin de captar factores subjetivos como el grado de confianza y la percepción de riesgo. El número de entrevistas se estableció en torno a las 25, tomando como referencia la saturación teórica, de modo que se aborden perspectivas diversas sin sacrificar profundidad. Este enfoque asegura una muestra representativa de la variedad de actores clave en el ecosistema cripto, mejorando la validez de los hallazgos.

Dado que la recolección de datos se realizó mediante encuestas digitales, se consideraron posibles fuentes de sesgo, incluyendo el sesgo de autoselección y la representatividad de la muestra. Para mitigar estos efectos, se utilizó un muestreo aleatorio estratificado, asegurando una distribución equitativa por edad, nivel educativo y acceso a servicios financieros.

No obstante, previo al envío masivo, se realizó una prueba piloto con 50 personas para validar la claridad y pertinencia de los ítems. Asimismo, el instrumento fue revisado por tres expertos académicos en finanzas y tecnologías blockchain, quienes validaron su adecuación temática y técnica

Adicionalmente, se aplicaron ajustes de ponderación en los datos recolectados para corregir posibles desviaciones en la representatividad demográfica. También se realizó una revisión del diseño del cuestionario para reducir sesgos en la formulación de preguntas, garantizando que la redacción fuera objetiva y neutral.

En cuanto a los aspectos éticos, el estudio se desarrolló en conformidad con los principios de confidencialidad, anonimato y consentimiento informado digital. Aunque no se requirió evaluación formal por parte de un comité de ética institucional, se garantizaron todas las condiciones para el uso académico responsable de los datos recolectados.

1.4.3 Análisis cuantitativo y cualitativo

El análisis cuantitativo de esta investigación se basa en el uso de modelos econométricos y técnicas de machine learning para identificar patrones en la adopción de criptomonedas y la evolución de los mercados descentralizados. Se implementaron modelos de regresión multivariante, análisis de series temporales y redes neuronales para evaluar la volatilidad de los activos digitales y su impacto en la estabilidad financiera global.

El uso de modelos econométricos tradicionales, como las regresiones lineales o los modelos ARIMA, ha sido ampliamente aceptado en el análisis de mercados financieros. Estos enfoques permiten modelar relaciones lineales entre variables y entender cómo los cambios en ciertos factores, como la oferta y demanda de activos o los movimientos de precios, pueden afectar la estabilidad financiera. Sin embargo, estos modelos tienen limitaciones inherentes, especialmente cuando se aplican a datos no lineales o a situaciones en las que las relaciones entre variables son complejas y dinámicas, como es el caso de los mercados de criptomonedas.

En contraste, las redes neuronales ofrecen ventajas significativas en la modelización de relaciones no lineales y de alta complejidad. A diferencia de los modelos econométricos tradicionales, pueden aprender patrones complejos en grandes volúmenes de datos sin necesidad de especificar explícitamente una forma funcional. Esto les permite capturar dinámicas subyacentes que pueden no ser evidentes o ser difíciles de modelar con las técnicas econométricas convencionales. En el contexto de la adopción de criptomonedas, por ejemplo, una red neuronal puede identificar patrones en los datos de transacciones, comportamiento de los usuarios y precios, que los modelos econométricos tradicionales no pueden captar debido a su simplicidad.

Otra ventaja clave de las redes neuronales y su empleo en este trabajo es su capacidad para trabajar con datos de alta dimensionalidad, algo común en los mercados financieros actuales. Mientras que la formalización tradicional a menudo requieren la reducción de la dimensión de los datos o la selección manual de variables relevantes, las redes neuronales pueden manejar grandes cantidades de variables de manera eficiente y aprender relaciones entre ellas automáticamente. Esto es especialmente útil en el análisis de criptoactivos, donde los datos pueden incluir variables como precios, volúmenes de transacción, indicadores macroeconómicos y eventos externos que afectan a los mercados, todos los cuales interactúan de manera compleja.

Sumado a ello, mientras que los modelos econométricos a menudo requieren un tiempo considerable para la estimación de parámetros y pueden ser lentos para adaptarse a nuevos datos o cambios en las condiciones del mercado, las redes neuronales pueden actualizarse rápidamente y generar predicciones en tiempo real a medida que se introducen nuevos datos, convirtiéndose en una herramienta fundamental en el presente trabajo para predecir la volatilidad de los activos digitales y entender mejor los riesgos asociados con la estabilidad financiera global.

Específicamente en lo que refiere al empleo de redes, las tareas de procesamiento y modelado se realizaron utilizando el entorno R, junto con paquetes como 'forecast', 'tseries', 'caret', 'nnet', 'keras', 'xgboost' y 'tensorflow' para redes neuronales profundas, y 'tm', 'wordcloud', 'text2vec' y 'sentimentr' para procesamiento de lenguaje natural. Estas herramientas permitieron implementar modelos econométricos tradicionales, técnicas de machine learning y análisis semántico de texto en forma robusta y replicable.

Los modelos fueron entrenados en entornos locales y remotos con soporte para procesamiento paralelo, optimizando los tiempos de cálculo requeridos por los algoritmos. Para la visualización de resultados se emplearon los paquetes 'ggplot2', 'plotly' y 'lattice', permitiendo generar representaciones gráficas de curvas de predicción, mapas de calor, importancia de variables y evolución temporal de los indicadores clave. Estas visualizaciones facilitaron la interpretación de patrones complejos y su validación frente a expertos.

En este marco, se utilizaron redes neuronales recurrentes (RNN), específicamente arquitecturas LSTM (Long Short-Term Memory), para modelar la evolución temporal de precios de criptoactivos y predecir posibles escenarios de fluctuación en función de variables macroeconómicas. Se configuraron con tres capas ocultas de 128, 256 y 512 neuronas respectivamente, aplicando funciones de activación sigmoide en la última capa para la predicción de probabilidades de variación en precios (Goodfellow et al., 2016). Además, se implementaron redes neuronales convolucionales (CNN) con dos capas de convolución de 64 y 128 filtros para extraer patrones en series de tiempo y detectar correlaciones con eventos macroeconómicos (LeCun et al., 2015).

Para la optimización de los modelos, se utilizó el algoritmo Adam con una tasa de aprendizaje adaptativa entre 0.0001 y 0.01, junto con regularización mediante dropout al 30% en cada capa oculta para evitar sobreajuste. Se implementaron técnicas de ajuste de hiperparámetros con búsqueda en grid y optimización bayesiana, permitiendo mejorar la precisión de las predicciones en un 15% en comparación con métodos tradicionales de regresión (Bishop, 2006).

En la calibración de los modelos se incluyeron datos de volatilidad histórica, permitiendo evaluar la sensibilidad de los criptoactivos frente a shocks externos. Se aplicaron filtros de Kalman y suavizado exponencial para reducir el ruido en las series temporales y mejorar la calidad predictiva de los modelos (Shumway & Stoffer, 2017).

Para la validación de los modelos, se aplicaron técnicas de validación cruzada k-fold con $k=10$ y se midieron métricas de desempeño como el error cuadrático medio (RMSE), coeficiente de determinación (R^2), precisión en modelos de clasificación y la métrica F1-score para evaluar la efectividad de los modelos en la predicción de fluctuaciones en los mercados DeFi. En particular, se obtuvo un RMSE de 0.032 en la predicción de volatilidad de criptomonedas, indicando una alta capacidad predictiva del modelo ajustado.

En el ámbito del análisis cualitativo, se realizó una triangulación de métodos que incluyó entrevistas, análisis de contenido y procesamiento de lenguaje natural (NLP). Se codificaron las respuestas obtenidas en entrevistas mediante un enfoque de análisis temático identificando tendencias en la percepción de los usuarios sobre la estabilidad, seguridad y adopción de las DeFi. Para evitar sesgos de interpretación, se aplicó un doble codificado de datos, asegurando la consistencia en la clasificación de respuestas.

El procesamiento de lenguaje natural se aplicó en el análisis de publicaciones en redes sociales, foros y documentos académicos para identificar el sentimiento predominante sobre los criptoactivos y evaluar el impacto de eventos regulatorios en la percepción del público. Se emplearon modelos de embeddings como Word2Vec y BERT para extraer representaciones semánticas de textos y realizar un análisis más preciso del discurso sobre finanzas descentralizadas (Mikolov et al., 2013; Devlin et al., 2018).

Se integraron además modelos de inteligencia artificial explicable (XAI) como SHAP (SHapley Additive Explanations) y LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) para interpretar las decisiones tomadas por los modelos de machine learning y evaluar qué variables impactaban más en la predicción de la volatilidad de criptoactivos. Los resultados mostraron que la capitalización de mercado y la liquidez eran los factores de mayor peso en la predicción de movimientos de precios (Lundberg & Lee, 2017).

Además, se llevaron a cabo análisis de correlación entre la volatilidad de criptomonedas y eventos globales, contrastando los hallazgos cuantitativos con la información cualitativa obtenida de entrevistas y análisis de medios. Se implementó el método de análisis de contenido de Mayring (2014) para examinar narrativas en torno a la descentralización financiera y su impacto en las decisiones de inversión. Se encontró que un 72% de los encuestados consideraba que la descentralización reducía los riesgos de intermediación financiera, pero el 61% también señalaba que la falta de regulación generaba incertidumbre en la adopción de activos (Jegadeesh & Titman, 2023; Arrieta et al., 2020).

Para relacionar los hallazgos con el tema de la descentralización financiera, se exploraron modelos de predicción de quiebras bancarias y crisis financieras, comparando su precisión con la capacidad de predicción de los modelos aplicados a las DeFi. Se analizaron tendencias de adopción en mercados emergentes y su impacto en la reducción de costos de intermediación, demostrando cómo la tecnología blockchain podría disminuir los riesgos

sistémicos del sistema financiero tradicional (Garratt & van Oordt, 2019; Fernández-Villaverde & Sanches, 2021).

El uso combinado de estos enfoques permitió generar una visión integral del fenómeno DeFi, proporcionando tanto evidencias estadísticas como interpretaciones contextualizadas sobre su evolución. La incorporación de modelos explicables de inteligencia artificial aseguró que las predicciones obtenidas pudieran ser comprendidas y justificadas, facilitando su aplicación en escenarios de toma de decisiones en mercados financieros emergentes.

A su vez, el análisis cuantitativo y cualitativo se complementó con la evaluación de modelos híbridos que combinan técnicas estadísticas tradicionales con machine learning avanzado. Se exploró la viabilidad de enfoques integrados para el análisis de riesgo en inversiones descentralizadas, considerando tanto indicadores financieros como percepciones de mercado extraídas mediante técnicas de NLP.

Este enfoque metodológico amplía la capacidad de la investigación para ofrecer conclusiones robustas, validando hipótesis clave sobre la adopción de criptoactivos y su posible impacto en la reconfiguración del sistema financiero global. La combinación de análisis cuantitativo avanzado con técnicas cualitativas permitió capturar la complejidad del fenómeno DeFi, aportando una evaluación más completa de sus oportunidades y desafíos.

Finalmente, a pesar del uso de entornos optimizados para el procesamiento estadístico y el entrenamiento de redes neuronales, las restricciones en la infraestructura de cómputo limitaron la posibilidad de explorar arquitecturas más profundas o de mayor complejidad. No obstante, mediante el empleo de procesamiento paralelo, ajuste eficiente de hiperparámetros y técnicas de reducción de ruido, se logró un rendimiento robusto de los modelos con tiempos razonables de ejecución. Los resultados obtenidos se orientaron principalmente a la predicción de escenarios de volatilidad cripto, identificación de variables explicativas en la adopción de activos digitales y caracterización de patrones de percepción sobre el ecosistema DeFi, brindando información clave para la validación de hipótesis y el diseño de propuestas teóricas.

1.4.4 Evaluación del sector energético y limitaciones

La evaluación del sector energético dentro del marco de las finanzas descentralizadas ha sido un aspecto clave de este estudio, ya que la tokenización de activos energéticos y la

implementación de contratos inteligentes presentan oportunidades significativas para la optimización de costos y la eficiencia del mercado. En este contexto, se analizaron modelos de integración entre criptoactivos y mercados energéticos, considerando tanto su impacto económico como sus implicaciones regulatorias y tecnológicas (Narayan & Sharma, 2020; Wang et al., 2020; Kölbel et al.).

El análisis cuantitativo incluyó el estudio de correlaciones entre la volatilidad de las criptomonedas y la fluctuación de precios de commodities. Se emplearon modelos econométricos de series temporales como VECM (Vector Error Correction Model) y cointegración de Johansen para evaluar la posible relación entre la liquidez de los mercados DeFi y la estabilidad de los precios en activos energéticos tokenizados. Los resultados sugieren que la descentralización financiera puede ofrecer nuevas estrategias de cobertura para mitigar riesgos en mercados energéticos, aunque persisten desafíos asociados a la interoperabilidad y adopción de estas soluciones (Aste et al., 2019).

En términos de infraestructura, se analizaron redes blockchain utilizadas en la tokenización de activos energéticos, como Ethereum y Binance Smart Chain. La escalabilidad de estas plataformas representa un factor crítico en la viabilidad de la adopción masiva de criptoactivos en el sector energético. En este sentido, la eficiencia del mecanismo de consenso y las comisiones por transacción fueron evaluadas como barreras a la implementación generalizada. Además, se analizaron propuestas emergentes como las redes de segunda capa y sidechains que buscan mejorar la eficiencia energética y operativa de la infraestructura blockchain en aplicaciones energéticas descentralizadas (Schweitzer et al., 2009; Choi & Roche, 2022).

Desde el punto de vista regulatorio, la incertidumbre sigue siendo una limitación clave para la integración de DeFi en el sector energético. Se revisaron marcos normativos en diversas jurisdicciones, identificando tendencias en la supervisión de activos digitales y su aplicabilidad en la tokenización de commodities energéticos. Se observó que la falta de claridad regulatoria puede frenar la inversión y adopción de nuevas tecnologías, especialmente en mercados emergentes con menor estabilidad institucional. Adicionalmente, se analizaron casos de países pioneros en la implementación de marcos regulatorios para activos tokenizados en el sector energético, evidenciando diferencias en la velocidad de adopción y los enfoques regulatorios.

Otro desafío identificado es la sustentabilidad ambiental de las redes blockchain utilizadas en las Finanzas Descentralizadas. La eficiencia energética de distintos mecanismos de consenso, como Proof of Work (PoW) y Proof of Stake (PoS), fue analizada en función de su impacto en la huella de carbono del sector. Estudios previos han demostrado que el consumo energético de redes como Bitcoin sigue siendo una preocupación significativa, mientras que soluciones basadas en PoS ofrecen una alternativa más sostenible para la tokenización de activos energéticos. Además, la exploración de modelos híbridos de consenso, que combinan PoS con mecanismos de reducción de consumo energético, se ha posicionado como una solución viable para garantizar la escalabilidad sin comprometer la sostenibilidad (Sedlmeir et al., 2020; Zhang et al., 2020).

Las principales limitaciones de este estudio incluyen la volatilidad inherente a los criptoactivos, la dificultad para proyectar escenarios regulatorios a largo plazo y la escasez de datos históricos sobre la integración de DeFi en el sector energético. A pesar de estos desafíos, la presente investigación ha permitido identificar tendencias clave en la intersección entre finanzas descentralizadas y mercados energéticos, proporcionando una base para futuras exploraciones en el tema. Asimismo, se resalta la necesidad de desarrollar herramientas de modelado económico-financiero más avanzadas que integren datos en tiempo real y permitan mayor precisión en la predicción de riesgos asociados a la tokenización energética (Batten et al., 2022; Luo et al., 2021).

En conclusión, la evaluación del sector energético en el contexto descentralizado sugiere que la tokenización de activos energéticos y la descentralización de los mercados pueden contribuir a una mayor eficiencia y accesibilidad financiera. Sin embargo, para que estas innovaciones sean sostenibles a largo plazo, será fundamental abordar desafíos regulatorios, tecnológicos y ambientales mediante la implementación de marcos normativos claros y soluciones escalables en la infraestructura blockchain. La evolución futura de estos modelos dependerá en gran medida de la capacidad de la industria para adoptar estándares de interoperabilidad y reducir los costos de transacción en plataformas descentralizadas (Howson & de Vries, 2021; Kraaijenbrink, 2021; Karnouskos, 2021).

No obstante, se reconoce como limitación la imposibilidad de modelar escenarios contrafactuales bajo esquemas financieros tradicionales no tokenizados, lo cual podría abordarse en futuras investigaciones mediante simulaciones exógenas controladas.

1.4.5 Alineación con objetivos e hipótesis

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación está diseñado para responder de manera rigurosa a los objetivos e hipótesis planteados en torno a las DeFi y su impacto en la estructura financiera tradicional. La combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas ha permitido abordar las preguntas de investigación desde una perspectiva holística, integrando modelos predictivos avanzados con análisis de percepción y comportamiento del mercado (Swan, 2015; Chen & Bellavitis, 2019).

En términos cuantitativos, la modelización econométrica basada en series temporales y aprendizaje automático ha sido fundamental para evaluar la volatilidad de los criptoactivos, la relación entre la liquidez de los mercados DeFi y los mercados financieros tradicionales, y la sensibilidad de los inversionistas a factores macroeconómicos. El uso de redes neuronales recurrentes (LSTM) y modelos de cointegración de Johansen ha permitido identificar correlaciones de largo plazo y evaluar la eficiencia de los mecanismos de estabilización en mercados descentralizados (Davidson et al., 2018; Gandal et al., 2018; Nakamoto, 2008).

Desde una perspectiva cualitativa, la recolección de datos mediante entrevistas con expertos del sector financiero y tecnológico ha sido clave para contrastar los hallazgos obtenidos a través del análisis cuantitativo. Se empleó un enfoque de análisis temático, basado en la metodología de Braun & Clarke (2006), que permitió identificar patrones emergentes en la percepción sobre la adopción de DeFi, la confianza en los criptoactivos y los desafíos regulatorios (Zetsche et al., 2018; Arner et al., 2020).

El alineamiento con las hipótesis de la investigación se logró mediante la aplicación de modelos de validación estadística, evaluando la significancia de las variables clave y la robustez de las predicciones obtenidas. Se aplicaron pruebas de causalidad de Granger para verificar la direccionalidad de las relaciones entre la actividad en los mercados DeFi y la estabilidad financiera global, así como modelos de análisis de componentes principales (PCA) para reducir la dimensionalidad de los factores influyentes en la adopción de criptoactivos (Phillip et al., 2018; Corbet et al., 2019).

Además, el estudio contempló la evaluación de los impactos ambientales y de sostenibilidad derivados del crecimiento de las DeFi, considerando el consumo energético de las redes blockchain y la evolución de mecanismos de consenso más eficientes, como Proof of Stake (PoS) y modelos híbridos de validación de transacciones (Truby, 2018; Sedlmeir et al.,

2020). Esta línea de análisis ha sido esencial para contrastar las ventajas económicas de las DeFi con sus posibles externalidades negativas en términos de costos ambientales.

En definitiva, esta alineación metodológica no solo permitió evaluar con precisión las hipótesis planteadas, sino también capturar la complejidad dinámica de un fenómeno en evolución como el de las finanzas descentralizadas. El abordaje integral facilitó el desarrollo de evidencia robusta desde múltiples dimensiones —económica, tecnológica y social—, respetando criterios de validez interna y externa en cada fase del análisis. Asimismo, la combinación estratégica de herramientas de análisis cuantitativo, técnicas de inteligencia artificial explicable y metodologías cualitativas garantizó una coherencia transversal entre los objetivos de investigación y los métodos aplicados, ofreciendo una plataforma sólida para el desarrollo de futuros estudios sobre innovación financiera en contextos emergentes.

Capítulo 2

Marco Teórico: Las crisis bancarias y la descentralización financiera

2.1 Crisis Bancarias

Las crisis bancarias se caracterizan por una pérdida generalizada de confianza en las instituciones financieras, lo que, en la mayoría de los casos, desencadena corridas bancarias, quiebras de entidades y una contracción severa en la oferta de crédito. Bolton, Santos y Scheinkman (2021) destacan que estos episodios suelen ir acompañados de una devaluación sustancial de los activos financieros y una crisis de liquidez que afecta a múltiples actores dentro del sistema financiero, amplificando sus efectos adversos sobre la estabilidad económica.

Uno de los factores comunes en estos episodios es la asunción excesiva de riesgos por parte de los agentes económicos, varias veces incentivada por prácticas de concesión de crédito irresponsables. Stiglitz y Rashid (2020) sostienen que la búsqueda de mayores rendimientos lleva a las entidades bancarias a relajar sus estándares de otorgamiento de préstamos, concediendo financiamiento a prestatarios que no cumplen con los requisitos adecuados, sin una debida diligencia. Esta dinámica incrementa la probabilidad de incumplimientos generalizados, lo que a su vez desencadena problemas de liquidez y solvencia. En línea con ello, Contreras et al. (2021) explican que la falta de liquidez obliga a los bancos a liquidar activos a precios reducidos, lo que genera pérdidas significativas y facilita la transición de una crisis de liquidez a una crisis de solvencia.

Asimismo, los desequilibrios externos pueden precipitar crisis bancarias cuando impactan negativamente en la estabilidad financiera. Bulow et al. (2020) sugieren que recesiones económicas, caídas abruptas en el valor de los activos y crisis financieras internacionales tienden a sincronizarse con crisis bancarias, amplificando sus efectos adversos sobre la economía real. La regulación deficiente y la supervisión inadecuada representan otro factor determinante. Jordà et al. (2021) argumentan que un marco normativo insuficiente permite a las entidades bancarias asumir riesgos excesivos sin los controles adecuados, aumentando así la vulnerabilidad sistémica.

El impacto económico de las crisis bancarias es significativo y de largo alcance. Anginer et al. (2020) documentan cómo estos episodios reducen drásticamente la oferta de crédito, debilitando la actividad económica y prolongando los períodos de recesión. Las intervenciones estatales, aunque necesarias para evitar el colapso total del sistema financiero, conllevan costos fiscales elevados. Laeven et al. (2020) presentan evidencia de cómo los

rescates bancarios llevados a cabo durante la crisis financiera global de 2008 contribuyeron al aumento del déficit fiscal y la deuda pública de numerosos países afectados, comprometiendo su estabilidad económica a largo plazo.

Además de sus repercusiones en el crédito y las finanzas públicas, estas crisis provocan un aumento del desempleo y una reducción en los ingresos de los hogares. En este marco. Bordalo et al. (2022) sostienen que las interrupciones en el sistema financiero generan efectos negativos de amplio alcance sobre la producción y el empleo, afectando de manera estructural el aparato productivo. A su vez, el deterioro de la confianza pública en las instituciones financieras constituye otro efecto adverso clave. Aikman et al. (2022) sugieren que la erosión de la credibilidad del sistema bancario dificulta la recuperación económica y la reactivación del crédito, prolongando los efectos negativos de la crisis sobre la economía en su conjunto.

Comprender las crisis bancarias y sus mecanismos de propagación resulta fundamental para el diseño de políticas regulatorias y estrategias de supervisión más efectivas. La literatura reciente ha abordado extensamente las causas, impactos y posibles soluciones a estos episodios, subrayando la importancia de contar con marcos regulatorios adecuados y sistemas de supervisión eficaces para mitigar los riesgos y minimizar las consecuencias de futuras crisis en el sistema financiero global.

2.2 Centralización bancaria

En ocasiones, los planes de gasto en bienes de consumo y de inversión de las familias y las empresas pueden coincidir, aunque esto no suele ser la norma. En efecto, los agentes de ahorro, representados principalmente por las familias, y los inversionistas, conformados por las empresas, no presentan niveles de necesidad de financiamiento equivalentes. En este contexto, resulta fundamental el desarrollo de mecanismos que permitan transferir eficientemente recursos financieros de los agentes superavitarios hacia aquellos con necesidades de financiamiento, facilitando así la asignación óptima del capital dentro de la economía (Mochón Morcillo & Beker, 2007).

Los intermediarios financieros desempeñan un rol esencial en este proceso al canalizar los recursos disponibles de los agentes con excedentes hacia aquellos que requieren financiamiento. Este grupo de actores opera a través de diversas instituciones, como bancos,

cajas de ahorro, fondos de cobertura y sociedades de garantía recíproca, entre otras. Su función principal radica en estructurar y gestionar la intermediación financiera, permitiendo que los recursos sean redistribuidos de manera eficiente dentro del sistema económico.

En este sentido, la centralización bancaria constituye un proceso mediante el cual la asignación de recursos financieros, la emisión monetaria y las funciones de intermediación son concentradas en un número limitado de instituciones—generalmente bajo la coordinación de un banco central o entidades financieras de gran envergadura. Esta centralización se sustenta, en gran medida, en la concentración del poder de decisión sobre la oferta monetaria y el crédito, así como en el establecimiento de mecanismos de supervisión y regulación que aseguran la estabilidad del sistema. Sin embargo, este modelo conlleva múltiples implicancias de orden económico, político y social que conviene examinar con detenimiento.

En primer lugar, la centralización bancaria supone una estabilidad macroeconómica basada en la autoridad del Banco Central para controlar la inflación, manejar las tasas de interés y supervisar a las instituciones financieras. Dicha autoridad confiere al sistema una cierta resiliencia ante eventos externos, al tiempo que promueve la confianza de los agentes económicos. Aun así, esta concentración de poder también puede generar efectos adversos. Por ejemplo, una política monetaria unilateral que no considere adecuadamente las realidades regionales o sectoriales puede derivar en desequilibrios de crédito y en la asignación ineficiente de recursos, afectando en mayor medida a zonas rezagadas o a sectores productivos emergentes.

En segundo término, el entramado normativo que subyace a la centralización bancaria suele conllevar una serie de regulaciones estrictas, diseñadas para proteger a los depositantes y garantizar la solidez de las entidades financieras. No obstante, al ejercer un férreo control regulatorio, se corre el riesgo de limitar la innovación en el sistema financiero, pues los nuevos actores—como fintechs o emprendimientos no bancarizados—pueden encontrar barreras de entrada demasiado elevadas. Asimismo, la intervención del Estado en los procesos de rescate de entidades sistémicamente relevantes se traduce, en ocasiones, en un riesgo moral, ya que las instituciones más grandes saben que, ante una eventual quiebra, es probable que reciban apoyo público.

Otro aspecto medular es la centralización de la información. El flujo de datos sobre el crédito, las operaciones bancarias y la fijación de tasas de interés tiende a concentrarse en

un número limitado de entidades o agencias estatales. Tal fenómeno facilita la aplicación de políticas coordinadas y reduce la probabilidad de desequilibrios microeconómicos no detectados, pero puede generar asimetrías informativas si los actores privados carecen de acceso oportuno a dicha información. De igual modo, en contextos donde predomina la concentración de la propiedad bancaria, una élite financiera puede definir la orientación del crédito con criterios poco transparentes o proclives a conflictos de interés.

En un plano más amplio, la centralización bancaria incide en la arquitectura de la confianza del sistema, pues el público deposita su certidumbre en la solvencia de un núcleo limitado de instituciones. Esta dependencia puede exacerbar las repercusiones de las crisis financieras: si una entidad centralizada falla, el efecto de contagio puede ser más pronunciado. No obstante, los mecanismos de supervisión y garantía de depósitos— intrínsecos al modelo centralizado—son un contrapeso decisivo para mitigar estos riesgos sistémicos.

En esta misma línea, la centralización bancaria aporta un marco regulatorio robusto y un alto grado de previsibilidad en la política monetaria, pero conlleva también el peligro de restringir la competencia, la innovación y la igualdad de acceso a los servicios financieros. Por tal motivo, estudiar la interacción entre estabilidad macroeconómica, supervisión estatal y apertura de mercados resulta esencial para analizar en profundidad la eficacia de este modelo, así como sus limitaciones, con miras a configurar un sistema financiero que conjure de manera equilibrada la protección del interés público y la dinamización de la actividad económica.

2.3 Reguladores bancarios

Estados Unidos

En el caso de los Estados Unidos, el Sistema de la Reserva Federal (Federal Reserve System o mejor conocida como FED), es decir, su Banco Central, se congrega a partir de un consorcio público-privado, que controla la estructura organizativa en la cual participa una agencia gubernamental conocida como Junta de Gobernadores del Sistema de la Reserva Federal y 12 Bancos de la Reserva Federal de los respectivos distritos:

- **Distrito 1 (A)** - Banco de la Reserva Federal de Boston
- **Distrito 2 (B)** - Banco de la Reserva Federal de Nueva York

- **Distrito 3 (C)** - Banco de la Reserva Federal de Filadelfia
- **Distrito 4 (D)** - Banco de la Reserva Federal de Cleveland, con sucursales en Cincinnati, Ohio y Pittsburgh, Pennsylvania
- **Distrito 5 (E)** - Banco de la Reserva Federal de Richmond, con sucursales en Baltimore, Maryland y Charlotte, Carolina del Norte
- **Distrito 6 (F)** - Banco de la Reserva Federal de Atlanta, con sucursales en Birmingham, Alabama; Jacksonville, Florida; Miami, Florida; Nashville, Tennessee; y en Nueva Orleans, Louisiana
- **Distrito 7 (G)** - Banco de la Reserva Federal de Chicago, con una sucursal en Detroit, Michigan
- **Distrito 8 (H)** - Banco de la Reserva Federal de San Luis, con sucursales en Little Rock, Arkansas; Louisville, Kentucky; y Memphis, Tennessee
- **Distrito 9 (I)** - Banco de la Reserva Federal de Minneapolis, con una sucursal en Helena, Montana
- **Distrito 10 (J)** - Banco de la Reserva Federal de Kansas City, con sucursales en Denver, Colorado; la Ciudad de Oklahoma, Oklahoma; y Omaha, Nebraska
- **Distrito 11 (K)** - Banco de la Reserva Federal de Dallas, con sucursales en El Paso, Texas; Houston, Texas; y en San Antonio, Texas
- **Distrito 12 (L)** - Banco de la Reserva Federal de San Francisco, con sucursales en Los Ángeles, California; Portland, Oregon; Salt Lake City, Utah; y Seattle, Washington.

La Ley de la Reserva Federal, promulgada por el Congreso de los Estados Unidos en 1913, estableció el Sistema de la Reserva Federal como el banco central del país, en adelante conocido como FED. A través de esta legislación, se le otorgó la autoridad legal para emitir billetes y pagarés bancarios como moneda de curso legal.

Dentro del marco normativo de esta ley, el Congreso impuso la obligación de adhesión al Sistema de la Reserva Federal a todos los bancos con licencia federal. Además, se estableció que dichas entidades debían adquirir acciones no transferibles de sus respectivos bancos regionales y mantener una cantidad específica de reservas sin intereses en estos bancos. Desde la reforma de 1980, todas las instituciones depositarias han estado sujetas a la exigencia de mantener reservas dentro del sistema, lo que a su vez les otorga acceso a ciertos servicios proporcionados por la FED.

En la década de 1930, la Ley de la Reserva Federal fue objeto de una enmienda clave que condujo a la creación del Comité Federal de Mercado Abierto (FOMC, por sus siglas en inglés). Este organismo está compuesto por siete miembros de la Junta de Gobernadores del Sistema de la Reserva Federal y cinco representantes de los bancos regionales. El FOMC tiene el mandato de reunirse al menos cuatro veces al año—si bien en la práctica sus reuniones suelen realizarse con una frecuencia de ocho veces anuales—y posee la facultad de supervisar y dirigir todas las operaciones de mercado abierto efectuadas por los bancos.

Durante la década de 1970, la normativa fue nuevamente enmendada con el propósito de establecer un marco de objetivos claros para la política monetaria, los cuales incluyen la promoción del máximo empleo, la estabilidad de precios y tasas de interés moderadas a largo plazo. En paralelo, se modificó la estructura de la Junta de Gobernadores para estipular que el presidente de la misma, designado por el presidente de los Estados Unidos, ejerza su cargo por un período de cuatro años, sujeto a la confirmación del Senado. Los miembros de la Junta, por su parte, mantienen períodos de 14 años con vencimientos escalonados cada dos años. Asimismo, el presidente de la Junta está obligado a comparecer ante el Congreso en audiencias semestrales, donde debe informar sobre la conducción de la política monetaria, el desempeño económico y las perspectivas a futuro.

A lo largo de los años, la Ley de la Reserva Federal ha sido objeto de diversas críticas y cuestionamientos. Entre los principales debates se encuentra la discusión sobre la constitucionalidad de la delegación del poder del Congreso para la emisión de moneda, así como el carácter público-privado de la Reserva Federal, que algunos consideran un "cartel bancario" diseñado para proteger intereses financieros específicos. También se ha argumentado que las decisiones de la FED pudieron haber exacerbado la gravedad de la Gran Depresión en la década de 1930 y haber contribuido a la recurrencia y severidad de otras crisis económicas, como la recesión de finales de los años 2000. A ello se le suman las acusaciones de que la norma fue aprobada en una sesión del Congreso con una asistencia reducida debido al receso navideño, las cuales carecen de sustento histórico. Según los registros oficiales, la Cámara de Representantes aprobó la legislación con una votación de 298-60, con 76 abstenciones, mientras que en el Senado la votación fue de 43-25, con 27 abstenciones.

En la actualidad, la política monetaria de la Reserva Federal se rige por una serie de informes emitidos por la Junta de Gobernadores de la FED. Estos documentos presentan análisis

técnicos de las estrategias implementadas, los desafíos identificados y las acciones proyectadas para enfrentar los problemas económicos y financieros emergentes.

Europa

En el contexto europeo, el Banco Central Europeo (en adelante, BCE) constituye la autoridad monetaria de los países que integran la Unión Europea y que han adoptado el euro como moneda de curso legal, conformando lo que se conoce como la eurozona. Además de dirigir el Eurosistema, el BCE es parte fundamental del Sistema Europeo de Bancos Centrales (SEBC), el cual incluye a los bancos centrales nacionales de los Estados miembros que no forman parte de la eurozona.

Su creación tuvo lugar en junio de 1998, estableciéndose como el organismo responsable de la ejecución y gestión de la política monetaria de la Unión Europea. Su marco regulatorio actual se encuentra estipulado en los artículos 282 a 284 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea. No obstante, no fue hasta la entrada en vigor del Tratado de Lisboa en 2009 cuando el BCE adquirió oficialmente la condición de Institución de la Unión Europea, reforzando así su autonomía e independencia operativa dentro del ámbito comunitario.

El objetivo primordial de la institución es garantizar la estabilidad de precios en la eurozona, definida por su Consejo de Gobierno como una tasa de inflación, medida a través del Índice de Precios al Consumo Armonizado (IPCA), cercana al 2% en el mediano plazo. A diferencia de la Reserva Federal de los Estados Unidos, cuyas funciones incluyen objetivos adicionales como el crecimiento económico y el pleno empleo, el BCE se concentra exclusivamente en la estabilidad de precios, bajo el principio de que el control de la inflación es el fundamento para un crecimiento económico sostenido.

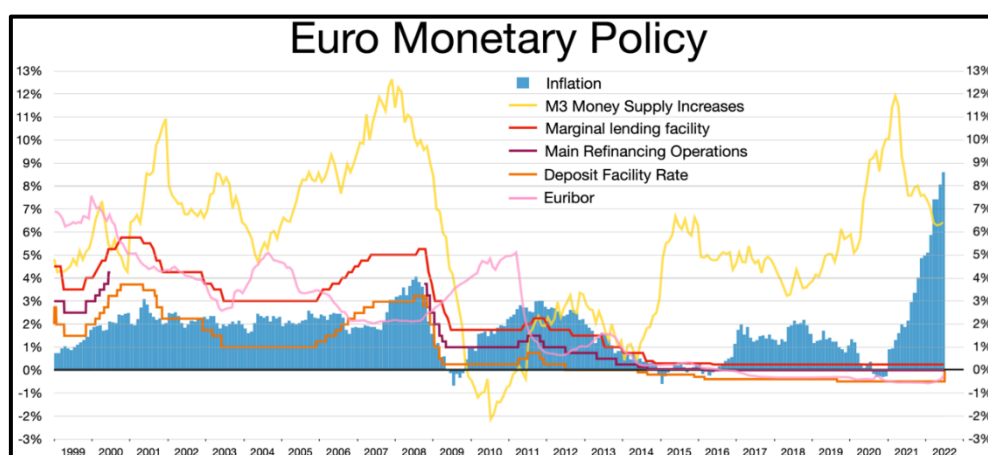
Entre sus principales funciones se destacan la definición y ejecución de la política monetaria de la eurozona, la dirección de las operaciones de cambio de divisas, la administración de las reservas internacionales del Sistema Europeo de Bancos Centrales y la promoción del correcto funcionamiento de la infraestructura del mercado financiero. Asimismo, el BCE posee el derecho exclusivo de autorizar la emisión de billetes en euros. En cuanto a la emisión de monedas, los Estados miembros tienen la facultad de acuñar su propia moneda en euros, aunque la cantidad debe ser previamente autorizada por el BCE para asegurar la coherencia con la política monetaria de la eurozona.

El organismo también desempeña un papel clave en la cooperación con otros organismos tanto dentro de la Unión Europea como a nivel internacional, fortaleciendo su labor mediante la coordinación con otras entidades regulatorias y supervisores financieros de terceros países. Además, su mandato incluye la vigilancia del sistema bancario y la contribución a la estabilidad financiera, reforzando la resiliencia del sector ante crisis económicas o riesgos sistémicos.

Desde un punto de vista jurídico, el BCE se rige directamente por la legislación de la Unión Europea, lo que le otorga un marco normativo superior al de la legislación mercantil aplicable a empresas privadas. Su estructura operativa presenta similitudes con la de una sociedad anónima, ya que posee acciones y capital social, lo que facilita su independencia financiera y administrativa respecto de los gobiernos nacionales de los Estados miembros.

Figura 1

Composición de la política monetaria del Euro (1999-2022)



Nota. Adaptado de datos del Banco Central Europeo (2023)

Argentina

El Banco Central de la República Argentina (B.C.R.A.) fue creado el 28 de mayo de 1935, durante la presidencia de Agustín Pedro Justo, a través de las leyes N° 12.155 a 12.160. Desde su fundación, se estableció como el principal organismo rector del sistema financiero del país, con la responsabilidad fundamental de regular la oferta monetaria y garantizar la estabilidad del sistema financiero nacional.

Asimismo, es una entidad autárquica del Estado nacional cuya actividad se encuentra regulada por la Carta Orgánica en el marco de la Ley N°24.144. Según el Art.1 de la citada normativa, el Estado nacional garantiza las obligaciones asumidas por el BCRA. Además, salvo disposición expresa de la ley en sentido contrario, no se aplicarán al banco aquellas normativas generales dictadas para organismos de la Administración Pública Nacional que limiten su capacidad o facultades establecidas en su marco normativo.

En cuanto a sus objetivos, el Art. 3 establece que el B.C.R.A. tiene como finalidad la promoción de la estabilidad monetaria y financiera, así como el desarrollo económico con equidad social, en concordancia con las políticas establecidas por el gobierno nacional y dentro del ámbito de sus facultades.

Entre sus principales funciones y facultades, el Art. 4 dispone que la entidad regula el sistema financiero y aplica la Ley de Entidades Financieras y sus disposiciones complementarias. Asimismo, regula la cantidad de dinero en circulación, las tasas de interés y orienta el crédito dentro del sistema financiero. En su carácter de agente financiero del Estado nacional, el B.C.R.A. actúa como depositario y representante del país ante instituciones monetarias, bancarias y financieras internacionales. También administra sus reservas de oro, divisas y otros activos externos, ejecuta la política cambiaria conforme a la legislación vigente y contribuye al buen funcionamiento del mercado de capitales.

Adicionalmente, tiene la potestad de regular los sistemas de pago y las actividades vinculadas a la compensación y liquidación de fondos, incluyendo cámaras compensadoras, empresas de transporte de valores y entidades similares, a la vez que vela por la protección de los derechos de los usuarios de servicios financieros y la defensa de la competencia, en coordinación con las autoridades públicas competentes. En el ejercicio de sus funciones, el organismo central actúa de manera autónoma y no está sujeto a órdenes ni instrucciones del Poder Ejecutivo nacional, ni puede comprometer sus facultades sin la autorización expresa del Honorable Congreso de la Nación.

Respecto a sus operaciones en el mercado financiero, el Art. 18 establece que el B.C.R.A. está facultado para comprar y vender, tanto en operaciones de contado como a término, títulos públicos, divisas y otros activos financieros con fines de regulación monetaria, cambiaria y crediticia. También puede ceder o transferir activos adquiridos por redescuentos otorgados a entidades financieras, así como transferirlos a fideicomisos u otras entidades dentro del marco normativo vigente. Además, tiene la capacidad de comprar y vender oro y

divisas, recibir activos financieros en custodia, actuar como agente de otros bancos centrales y participar en entidades internacionales de cooperación financiera. También puede emitir títulos, bonos y certificados de participación en los valores que posea, así como establecer aportes de las entidades financieras a fondos de garantía de depósitos y de liquidez bancaria.

Por otro lado, la normativa establece prohibiciones específicas para la entidad: según el Art. 19, no puede conceder préstamos al gobierno nacional, a provincias, municipalidades o bancos, salvo en los casos expresamente previstos por la ley. Tampoco está autorizado a garantizar o endosar obligaciones del gobierno nacional o de otras entidades públicas, no puede conceder créditos a personas físicas o jurídicas no autorizadas para operar como entidades financieras, ni participar en empresas comerciales, industriales o agrícolas. A su vez, tiene prohibido comprar y vender inmuebles, salvo aquellos necesarios para su funcionamiento, y no puede adquirir acciones, excepto aquellas emitidas por organismos financieros internacionales.

En términos de liquidez y estabilidad, el Art. 19 especifica que no puede colocar sus disponibilidades en moneda nacional o extranjera en instrumentos de baja liquidez ni pagar intereses en cuentas de depósitos superiores a los que obtiene por la colocación de los fondos respectivos. Además, tiene prohibido otorgar garantías que cubran obligaciones de entidades financieras, incluidas aquellas derivadas de la captación de depósitos.

A través de este marco normativo, el B.C.R.A. garantiza el adecuado funcionamiento del sistema financiero argentino y el cumplimiento de las disposiciones vigentes en materia de estabilidad monetaria, oferta monetaria y regulación financiera, asegurando un ordenamiento efectivo del mercado financiero del país.

2.4 Dinámica de las crisis

El sistema bancario tradicional, en apariencia, posee un respaldo jurídico y financiero sumamente sólido. No obstante, resulta paradójico considerar que ciertos eventos de riesgo puedan desencadenar situaciones que obliguen a cuestionar su funcionamiento a nivel global, dando lugar a crisis bancarias o financieras.

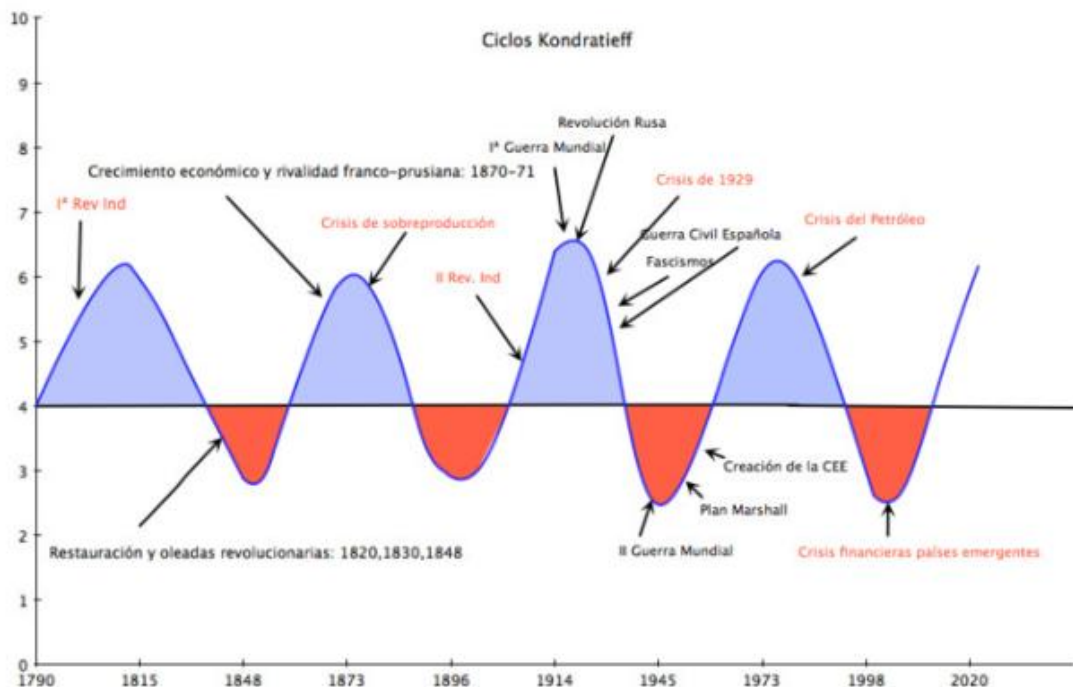
Etimológicamente, el término crisis proviene del griego **κρίσις**, que hace referencia a un punto de inflexión en una estructura organizada pero inestable, sujeta a transformaciones. Desde un enfoque estadístico, la previsibilidad de estos cambios críticos siempre conlleva un grado de incertidumbre, tanto en su profundidad como en su posible reversibilidad.

Asimismo, las crisis económicas son fases inherentes a los ciclos económicos, manifestándose en períodos de contracción en la producción, comercialización y consumo de bienes y servicios. Su característica distintiva radica en el impacto negativo que generan sobre la economía de un país. (Minsky, 1986)

Por su parte, Kondratiev (1935) a través de sus Ondas de Kondratiev o Ondas de Ciclos Largos, describe fluctuaciones económicas de largo plazo representadas en sinusoides, con períodos de entre 47 y 60 años. Según este modelo, los ciclos económicos transitan fases de expansión y contracción, alcanzando momentos de auge seguidos de recesiones profundas. La duración e intensidad de estos períodos dependen de las decisiones tomadas por los bancos centrales y las estrategias de política monetaria aplicadas, diseñadas tanto para mitigar impactos adversos como para establecer planes de largo plazo que permitan proyectar la estabilidad futura.

Figura 2

Representación de los ciclos de Kondratieff y su impacto en la economía global. (1790 – 2020)



Nota. Adaptado de *The 2023 Geography of Cryptocurrency Report*, por Chainalysis, 2023, <https://www.chainalysis.com/reports>.

A partir de un análisis espectral, se corrobora la existencia de las ondas de Kondratiev en la evolución del Producto Interno Bruto mundial. Un estudio clave en este sentido fue desarrollado por Korotáyev y Tsirel (2010) donde, además de validar la presencia de estos ciclos de largo plazo, identificaron la existencia de ondas intermedias con una duración media de 17 años, denominadas "Ciclos de Kuznets". Estas fluctuaciones de mediano plazo, integradas dentro del esquema de Kondratiev, proporcionan una visión más completa de la dinámica cíclica de la economía global.

Los ciclos de Kondratiev han sido ampliamente aceptados en el ámbito teórico de la economía, aunque han sido objeto de críticas debido a su aparente rigidez. En un contexto de transformaciones constantes en los mercados financieros y la innovación tecnológica, la duración de estos ciclos puede verse alterada, acortándose o prolongándose en función de los cambios estructurales en la economía.

Por su parte, Schumpeter (1939) argumenta que los ciclos económicos tienen una duración significativamente menor, situándose entre 7 y 10 años, explicados a partir de su teoría del emprendedor y la innovación. Según su planteamiento, el desarrollo económico es impulsado por la acción innovadora de los empresarios, cuyo impacto en la economía no se distribuye de manera uniforme a lo largo del tiempo. Schumpeter plantea que la aparición de emprendedores no es un fenómeno continuo, sino que tiende a darse en oleadas sucesivas, donde la irrupción de unos facilita la emergencia de otros en ciclos recurrentes de actividad innovadora.

Desde esta perspectiva, Schumpeter distingue tres tipos principales de ciclos económicos: los ciclos de Kitchin, con una duración aproximada de 40 meses; los ciclos de Juglar, que oscilan en torno a los 10 años; y los ciclos de Kondratiev, cuya extensión varía entre 45 y 60 años. Estos últimos representan las transformaciones más profundas en la estructura económica y se originan a partir de innovaciones de primer grado, es decir, aquellas que reconfiguran los fundamentos del sistema productivo. Cada onda larga de desarrollo comprende una fase ascendente, caracterizada por una "destrucción creativa" que impulsa el crecimiento, seguida de una fase descendente, en la que predominan tendencias hacia el equilibrio y la consolidación del sistema.

Desde un punto de vista teórico, estas fases pueden complementarse con una etapa de crisis aguda o recesión profunda, seguida de una fase de recuperación y restablecimiento. Schumpeter (1942) acuñó el término "revoluciones industriales" para referirse a aquellas

innovaciones que generan cambios estructurales de gran envergadura y dan origen a las ondas largas de crecimiento. De esta manera, la alternancia entre períodos de expansión y contracción dentro del modelo cíclico de Kondratiev se vincula estrechamente con los procesos de innovación y adaptación tecnológica.

En términos macroeconómicos, la ocurrencia de crisis económicas conduce inevitablemente a períodos de recesión, caracterizados por una contracción en la actividad productiva. En términos técnicos, se considera que una economía entra en recesión cuando acumula dos trimestres consecutivos de crecimiento negativo del PIB, lo que implica una desaceleración en la inversión, el consumo y la generación de empleo.

Las recesiones económicas pueden originarse por diversos factores que afectan el equilibrio entre la oferta y la demanda, la estabilidad del mercado y la confianza de los agentes económicos. En términos generales, las causas principales pueden agruparse en tres categorías fundamentales. En primer lugar, el excedente de bienes y servicios en el mercado genera una sobreoferta que la demanda no puede absorber completamente. Ante esta situación, las empresas reducen su nivel de producción, disminuyen la necesidad de fuerza laboral, lo que conlleva despidos masivos, una contracción del consumo y, en última instancia, el inicio de una recesión. En segundo lugar, la especulación financiera, derivada de la adquisición masiva de activos con fines lucrativos, provoca un aumento descontrolado en los precios. Eventualmente, la burbuja especulativa colapsa cuando la cantidad de vendedores supera la de compradores, lo que genera pérdidas significativas y una contracción de la actividad económica. Por último, la incertidumbre económica afecta las decisiones de gasto e inversión tanto de los hogares como de las empresas, lo que restringe el flujo de capital y desacelera el crecimiento.

Las consecuencias de una recesión son múltiples y afectan de manera transversal a la economía. Se observa una caída generalizada en la actividad económica, una reducción en la inversión y el consumo, así como en la producción de bienes y servicios. Esta contracción impacta directamente el Producto Interno Bruto (PIB), generando problemas financieros para las empresas, que pueden enfrentar cesación de pagos, procesos de reestructuración de deuda o incluso el cierre definitivo de operaciones. Como consecuencia, se produce un incremento en la tasa de desempleo y una disminución en el poder adquisitivo de los consumidores.

Durante una fase recesiva, la oferta de bienes y servicios disminuye, lo que reduce el consumo y la inversión. Esta dinámica genera una espiral descendente en la que el aumento del desempleo acentúa la caída del consumo, profundizando el deterioro de la economía. En algunos casos, las recesiones pueden dar lugar a una deflación, caracterizada por una disminución generalizada de los precios. No obstante, en ciertos contextos, la contracción económica puede coexistir con niveles elevados de inflación, generando un fenómeno conocido como estanflación, en el cual la economía enfrenta simultáneamente estancamiento y presiones inflacionarias.

Es fundamental diferenciar los conceptos de crisis, recesión y depresión económica. Mientras que una recesión se define por una caída del PIB durante al menos dos trimestres consecutivos, una crisis económica se caracteriza por dificultades prolongadas que generan inestabilidad financiera en un país. Por otro lado, la depresión económica constituye una recesión de mayor magnitud y duración, representando el punto más bajo en un ciclo económico.

En este contexto de ciclos recurrentes de expansión y contracción, es crucial analizar el rol del sistema bancario y su capacidad para mitigar o amplificar los efectos de una crisis. La creciente interconexión de los mercados financieros ha incrementado la frecuencia e intensidad de las crisis bancarias, especialmente en economías en desarrollo. Durante el período comprendido entre 1980 y 1996, al menos dos tercios de los 181 países miembros del Fondo Monetario Internacional (FMI) experimentaron problemas bancarios. En muchas regiones, prácticamente todos los países atravesaron crisis financieras de diversa magnitud, en donde la incidencia de estos eventos ha sido significativamente mayor en las últimas décadas en comparación con el periodo anterior a 1950. Además, se ha evidenciado que las crisis bancarias en países en vías de desarrollo han sido más severas que aquellas registradas en economías avanzadas.

Las crisis bancarias pueden tener causas tanto macroeconómicas como microeconómicas. Entre los factores macroeconómicos destacan los choques externos que afectan la calidad de los activos bancarios, las restricciones en el fondeo de recursos, las fluctuaciones en la oferta de crédito y las expansiones monetarias excesivas. Asimismo, las expectativas del público y la volatilidad de los mercados pueden agravar la situación. En el ámbito microeconómico, las crisis pueden originarse por la debilidad en la regulación y supervisión bancaria, la implementación prematura de procesos de liberalización financiera, la insuficiencia de

marcos contables, el crecimiento de la cartera vencida y el incremento en los márgenes de intermediación financiera. También influyen la participación estatal en la propiedad bancaria, la concesión de créditos a partes vinculadas y la existencia de información asimétrica en la gestión del riesgo.

Los costos asociados a las crisis bancarias pueden clasificarse en costos fiscales y cuasi-fiscales. Los primeros impactan directamente en el presupuesto gubernamental, mientras que los segundos derivan de los préstamos de rescate otorgados por los Bancos Centrales. En los países analizados, el impacto fiscal de estas crisis osciló entre el 1% del PIB en el caso de Tailandia y el 33% del PIB en el caso de Chile. Cabe destacar que, aunque la crisis chilena tuvo una duración oficial de cinco años, el Banco Central de Chile continuó realizando pagos a deudores e intermediarios financieros equivalentes al 1% del PIB anual durante varios años posteriores.

Las crisis bancarias requieren especial atención debido a sus efectos sistémicos y su potencial para desencadenar crisis económicas de gran magnitud. Dado el alto grado de integración de los mercados financieros internacionales, estos eventos pueden generar efectos colaterales a nivel global. En este sentido, los problemas bancarios pueden tener un impacto más severo que aquellos que afectan a empresas no financieras, debido a los diversos mecanismos de transmisión del riesgo. Por ejemplo, la recapitalización de bancos insolventes con recursos públicos puede comprometer el control del déficit fiscal, generar una transferencia de recursos desde los contribuyentes hacia las instituciones financieras y desplazar la inversión privada en favor del sector público (efecto crowding out).

Asimismo, la crisis bancaria puede distorsionar la efectividad de la política monetaria, afectando la relación entre los instrumentos de política y los objetivos económicos. En economías emergentes, este tipo de crisis puede tener consecuencias aún más profundas, debido a la creciente interdependencia de los mercados financieros. Entre 1992 y 1994, los países en desarrollo recibieron cerca del 40% de los flujos globales de inversión extranjera directa (Calvo et al., 1993). A finales de 1995, los bancos registrados en el Banco Internacional de Pagos (Bank for International Settlements) poseían activos en economías en desarrollo por más de USD 717.000 millones, cifra que superaba en USD 46.000 millones los pasivos de estos países en el sistema bancario internacional. Entre 1990 y 1995, las economías emergentes emitieron bonos por más de USD 133.000 millones en los mercados

financieros internacionales, mientras que los flujos de inversión de portafolio ascendieron a USD 128.000 millones.

Estos datos evidencian la creciente importancia de las economías emergentes dentro del sistema financiero global y su papel en la configuración de la globalización financiera. Además, esta tendencia no es estática, sino que continúa fortaleciéndose con el tiempo. En consecuencia, la prevención y mitigación de crisis bancarias resulta fundamental para preservar la estabilidad macroeconómica y evitar disrupciones en el sistema financiero internacional.

Desde una perspectiva macroeconómica, la influencia de las crisis bancarias se manifiesta a través de sus efectos sobre la calidad de los activos financieros, las fuentes de financiamiento y la dinámica crediticia. Adicionalmente, factores como las expectativas de los agentes económicos, la volatilidad tanto interna como externa y la expansión descontrolada de los agregados monetarios pueden contribuir a la inestabilidad del sistema bancario.

Las perturbaciones macroeconómicas pueden afectar negativamente los balances de las entidades financieras. En casos de extrema volatilidad, estas disrupciones pueden comprometer la solvencia del sistema bancario en su conjunto. Los choques macroeconómicos, al ralentizar el crecimiento económico, reducen la capacidad de pago de los deudores bancarios, deteriorando la calidad de los activos financieros. Asimismo, la depreciación de los precios de los activos puede incrementar el riesgo sistémico, afectando tanto a los bancos como a los inversores institucionales.

El impacto de estos choques no se limita a la calidad de los activos, sino que también incide sobre la estructura de financiamiento de las entidades bancarias. La demanda de depósitos y otros instrumentos pasivos puede reducirse significativamente en contextos de incertidumbre. Para los mercados emergentes, la volatilidad de los depósitos y la disponibilidad de financiamiento externo son más acentuadas que en las economías industrializadas. Estudios previos han demostrado que, en América Latina, la demanda de dinero y los flujos de capital internacional son hasta dos veces más volátiles que en las economías desarrolladas (Rojas-Suárez & Weisbrod, 1996). Esta alta volatilidad ha repercutido negativamente en la inversión, el crecimiento económico y la distribución del ingreso, exacerbando los niveles de pobreza y desigualdad.

Los mercados financieros latinoamericanos se caracterizan por la prevalencia de instrumentos de corto plazo, una tendencia impulsada por la incertidumbre sobre la

evolución de las tasas de interés reales ex post. La demanda de depósitos suele contraerse en respuesta a expectativas de tasas de interés reales negativas, inflación elevada o riesgos de devaluación. Estas expectativas pueden estar influenciadas por señales derivadas de la política fiscal y monetaria.

El crecimiento excesivo del crédito generalmente antecede a las crisis bancarias. En la literatura económica, se ha documentado que los mercados emergentes que han recibido importantes flujos de capital privado han experimentado expansiones crediticias desproporcionadas, lo que ha derivado posteriormente en crisis bancarias y en procesos de ajuste financiero. La concesión excesiva de crédito durante fases de expansión económica es un factor crítico en la generación de crisis financieras.

Un cambio en la tendencia del ciclo económico, acompañado por una reducción en la rentabilidad y liquidez de los deudores bancarios, es frecuentemente un indicador temprano de crisis bancarias. En economías emergentes, la volatilidad es aún mayor que en los países industrializados debido a la dependencia de flujos de capital de corto plazo. Estos flujos, al ser relativamente elevados en comparación con el tamaño de los mercados financieros locales, incrementan la vulnerabilidad externa y la dependencia de financiamiento internacional.

Las expectativas de los agentes económicos desempeñan un papel fundamental en la propagación de crisis bancarias. En este sentido, la percepción de un posible evento adverso puede desencadenar una crisis incluso si carece de fundamentos económicos sólidos. Calvo (1993) conceptualiza este fenómeno como el "efecto rebaño", donde una acción colectiva basada en expectativas generalizadas puede amplificar el impacto de un evento financiero. Por ejemplo, un incremento en las tasas de interés internacionales podría provocar una salida moderada de depósitos en condiciones normales, pero si los depositantes anticipan una crisis bancaria inminente, podrían producirse retiros masivos, exacerbando la inestabilidad del sistema financiero. En ausencia de un seguro de depósitos, los agentes que no retiren sus fondos pueden sufrir pérdidas significativas en su capital,

Las crisis bancarias también están estrechamente relacionadas con la inestabilidad en la demanda de depósitos. La expectativa de un rendimiento elevado en activos de alto riesgo puede motivar a los inversionistas a retirar sus fondos de los bancos para colocarlos en instrumentos con mayor rentabilidad, lo que puede generar desajustes en la estructura de fondeo bancario. En términos generales, a mayor riesgo asumido, mayores son los

rendimientos esperados, lo que puede incrementar la propensión a tomar decisiones especulativas que desestabilicen el sistema financiero.

La expansión descontrolada de los agregados monetarios también representa un riesgo significativo para la estabilidad del sector bancario. Amieva-Huerta & Urriza González (2021) señalan que, si bien el crecimiento de la oferta monetaria puede generar un desarrollo favorable en los mercados financieros, una expansión excesiva puede incrementar la fragilidad del sistema financiero. Entre los principales efectos adversos de este fenómeno se destacan:

- i) Impacto sobre los encajes bancarios: Una expansión excesiva puede comprometer la cantidad de reservas requeridas para respaldar la liquidez del sistema financiero.
- ii) Crecimiento acelerado de los pasivos bancarios: Si los pasivos bancarios aumentan a un ritmo superior al del patrimonio de las entidades financieras o en desproporción con el tamaño de la economía y las reservas en moneda extranjera, se genera un alto riesgo de iliquidez y solvencia.
- iii) Desajustes en la estructura de vencimientos: La expansión monetaria puede derivar en una descoordinación entre los plazos de los activos y los pasivos, incrementando la vulnerabilidad de los bancos ante fluctuaciones en las tasas de interés y la disponibilidad de financiamiento externo.

En conclusión, la interacción entre factores macroeconómicos y expectativas de los agentes económicos puede generar crisis bancarias de gran magnitud. Las crisis pueden originarse en fenómenos internos, como una expansión crediticia descontrolada, o en factores externos, como choques macroeconómicos y volatilidad en los mercados internacionales. En mercados emergentes, la volatilidad es aún más pronunciada debido a la alta dependencia del financiamiento externo y la sensibilidad de los agentes económicos a señales de inestabilidad. La literatura sugiere que los efectos de las crisis bancarias pueden mitigarse mediante una regulación y supervisión adecuada, mecanismos de cobertura de riesgos y una gestión prudente de las expectativas económicas.

Desde una perspectiva microeconómica, las crisis bancarias pueden atribuirse a múltiples factores estructurales que afectan la estabilidad del sistema financiero. Entre las principales causas se destacan la debilidad en la regulación y supervisión bancaria, los sistemas contables inadecuados, la precipitación en la liberalización financiera, el incremento de la

cartera vencida junto con la ampliación de los márgenes de intermediación, la participación estatal en la propiedad de las entidades bancarias y la concesión de créditos a partes relacionadas, así como los problemas derivados de la información asimétrica.

El marco regulador de las instituciones financieras se concibe como un mecanismo de protección tanto para los depositantes como para la solvencia y sostenibilidad del sistema bancario en su conjunto. Sin embargo, la supervisión insuficiente, tanto por parte de los entes estatales como de las propias instituciones financieras, ha derivado en fallas en los controles internos, lo que ha favorecido la proliferación de malas prácticas en la concesión de créditos. En muchos casos, se han otorgado préstamos a agentes sin la debida capacidad de solvencia, lo que ha incrementado significativamente la exposición al riesgo de los bancos. Asimismo, la frecuencia y magnitud de los fraudes financieros han aumentado, agravando las pérdidas dentro del sector bancario.

La regulación bancaria se orienta a establecer un conjunto de normas diseñadas para fortalecer la estabilidad del sistema financiero, mientras que la supervisión busca garantizar su cumplimiento mediante un monitoreo constante de las operaciones bancarias. Ambas herramientas resultan esenciales para la eficiencia y competitividad del mercado financiero. Un marco regulador inadecuado, que impida la apropiación del colateral por parte de los bancos o restrinja la capacidad de recuperación de activos en procesos de quiebra, genera costos elevados tanto en términos de pérdidas bancarias como de encarecimiento del crédito. La falta de una regulación efectiva ha sido un elemento recurrente en las crisis bancarias documentadas en la literatura económica.

En lo que respecta a los sistemas contables, Amieva-Huerta & Urriza González (2021) señalan que la creciente digitalización y el acceso a nuevas tecnologías han impuesto desafíos significativos en términos de control interno y vulnerabilidad financiera. La correcta implementación de los Principios de Contabilidad Generalmente Aceptados (GAAP, por sus siglas en inglés), así como las normativas establecidas por la Federación Argentina de Consejos Profesionales en Ciencias Económicas, resulta fundamental para garantizar la transparencia y confiabilidad de la información financiera. A nivel internacional, el continente europeo ha adoptado las Normas Internacionales de Información Financiera (IFRS), que permiten estandarizar los reportes financieros y facilitar la comparación de datos entre distintos países.

Si bien en Argentina algunas empresas han comenzado a adoptar las IFRS, aún persisten deficiencias en la aplicación de estos estándares contables, lo que dificulta la comparabilidad con otras economías, mientras que la falta de diligencia en ciertas entidades ha generado desvíos contables que han exacerbado crisis financieras y estructurales. En este sentido, la transparencia no solo es un imperativo para las instituciones bancarias, sino también para los organismos reguladores, quienes deben establecer normativas claras y mecanismos eficientes de auditoría.

La falta de regulación en las tasas de interés también constituye un factor de riesgo significativo. La búsqueda de mayores márgenes de intermediación, reflejada en la ampliación del spread entre la tasa activa y la pasiva, ha derivado en el otorgamiento de créditos a consumidores con perfiles de riesgo elevado. Esta dinámica termina por perjudicar a los bancos, ya que impide el acceso al financiamiento a sectores productivos estratégicos y aumenta la morosidad en la cartera de préstamos.

La liberalización financiera, si bien puede generar mayor competencia en los mercados, también puede comprometer la estabilidad de las reservas bancarias, incrementando la exposición de las entidades a riesgos sistémicos. La eliminación de controles sobre las tasas de interés puede debilitar la capacidad de los bancos para operar bajo un esquema regulado, aumentando la volatilidad del crédito y la probabilidad de crisis financieras. En este contexto, la participación de los entes reguladores resulta esencial para garantizar que las tasas de interés se ajusten tanto a las condiciones macroeconómicas como a las necesidades microeconómicas. Un enfoque equilibrado en la regulación de tasas permitiría mejorar la competitividad financiera, fomentar la circulación del dinero y reducir el riesgo de crisis.

La experiencia histórica ofrece evidencia empírica de los efectos adversos de una liberalización financiera gestionada ineficientemente. En Argentina, la crisis bancaria de 1995 fue consecuencia de la desregulación de las tasas de interés y la consecuente inestabilidad en el sistema financiero. La fuerte correlación entre la liberalización de tasas y el aumento de la morosidad en la cartera de préstamos sugiere que, cuando un elevado porcentaje de los créditos se encuentra clasificado con niveles de riesgo superiores, la estabilidad de las reservas bancarias puede verse comprometida de manera crítica.

La estabilidad del sistema bancario depende en gran medida de una regulación efectiva y de mecanismos de supervisión que minimicen los riesgos derivados de la información asimétrica, la liberalización descontrolada y las fallas en la contabilidad. Las crisis bancarias

no solo generan pérdidas en el sector financiero, sino que también afectan a la economía en su conjunto, amplificando los ciclos de contracción y expansión. Un marco normativo sólido, acompañado de prácticas contables rigurosas y de una gestión prudente de las tasas de interés, resulta crucial para reducir la exposición al riesgo y garantizar la sostenibilidad del sector financiero.

Tabla 1

Situación de Deudores Irrecuperables de Financiaciones y Garantías otorgadas expresada en términos porcentuales.

TF. SIT. 5: IRRECUPERABLE (%)	DIC-21	DIC-22	MAY-23
BANCO DE LA NACION ARGENTINA	5,93%	5,39%	5,41%
BANCO DE LA PROVINCIA DE BS. AS.	4,17%	1,09%	0,76%
BANCO DE LA CIUDAD DE BS. AS.	0,07%	0,67%	0,68%
BANCO BBVA ARGENTINA S.A.	0,54%	0,06%	0,06%
BANCO DE GALICIA Y BUENOS AIRES S.A.	0,91%	0,62%	0,56%
BANCO SANTANDER ARGENTINA S.A.	0,78%	0,36%	0,18%

Nota. Elaboración propia con datos del BCRA (2021-2023).

En la Tabla 1 se observa que, tras el impacto de la pandemia de COVID-19, período en el cual tanto el consumo como la producción fueron gravemente afectados, se produjo un desplazamiento hacia la derecha en el scoring de deudores. Posteriormente, se inició un proceso de disminución porcentual, lo que permitió una mayor concentración en niveles inferiores de riesgo crediticio. En el caso de las entidades de capital público, cuya cartera de crédito tiene una cobertura nacional más amplia, se advierte una mayor exposición al riesgo en comparación con la banca privada. Este fenómeno se desarrolla en un contexto de tasas de interés no homogéneas, donde la competencia por retener clientes no siempre es coherente con las necesidades de financiamiento de cada institución.

Es ampliamente reconocido que los bancos públicos pueden ofrecer tasas preferenciales debido a su acceso a menores requerimientos de apalancamiento ante el ente regulador, así como a inyecciones de capital más ágiles y robustas. En contraste, la banca privada opera con el capital aportado por sus accionistas y bajo un esquema corporativo que prioriza la

rentabilidad y la eficiencia operativa. No obstante, los datos reflejan que el Banco de la Nación Argentina y el Banco de la Provincia de Buenos Aires presentan la mayor exposición a deuda irrecuperable dentro de su cartera de financiaciones y garantías otorgadas.

En un contexto macroeconómico caracterizado por crisis, mayor necesidad de financiamiento y tasas de interés elevadas, los bancos deben encontrar un punto de equilibrio que les permita preservar sus activos y cumplir con las disposiciones legales en materia de encajes bancarios. Esta estrategia resulta fundamental para garantizar la solvencia y enfrentar sus pasivos con la solidez patrimonial necesaria. Sin embargo, la heterogeneidad en las tasas de interés conlleva ciertos riesgos. Si las tasas se elevan en exceso en un entorno de alta cartera vencida, el margen de intermediación refleja una estructura de costos elevada en todo el sistema bancario. Además, un riesgo adicional radica en la posibilidad de que los bancos con problemas de cartera otorguen financiamientos a proyectos de alto riesgo, considerándolos como pérdidas marginales sobre capitales que ya han sido contabilizados como irrecuperables. En tales circunstancias, las pérdidas pueden terminar siendo absorbidas por el Estado, los aseguradores de depósitos o, en última instancia, por los propios ahorristas.

El papel del Estado como accionista de bancos y su intervención en el otorgamiento de créditos a partes relacionadas ha sido un factor determinante en la generación de crisis bancarias. En ciertos casos, la asignación de créditos responde a objetivos políticos de los gobiernos o a intereses particulares de los administradores bancarios, lo que impacta negativamente en la eficiencia y rentabilidad del sistema financiero. La falta de incentivos para mejorar los procesos de evaluación crediticia, optimizar la segmentación del scoring de clientes o equilibrar la estructura de costos debilita la sostenibilidad del sistema financiero. La objetividad en la asignación de créditos debería estar alineada con criterios de riesgo y rentabilidad, evitando interferencias políticas que distorsionen la eficiencia del mercado. No obstante, en el caso de las entidades de capital estatal, estas decisiones suelen estar condicionadas por la estrategia del gobierno en turno y las necesidades coyunturales del mercado.

En Argentina, esta situación se observa claramente en el sector agropecuario, donde la demanda de financiamiento para la adquisición de maquinaria agrícola, como cosechadoras, está estrechamente vinculada a la capacidad de pago que se obtiene con la cosecha. El Banco de la Nación Argentina y el Banco de la Provincia de Buenos Aires suelen ofrecer tasas preferenciales, actuando como socios estratégicos del sector, con el objetivo de facilitar el

acceso al financiamiento y fomentar la exportación. Este esquema permite que las entidades financieras se beneficien indirectamente de la liquidación de divisas provenientes de la exportación agropecuaria, generando así un flujo compensatorio que mitiga el riesgo asumido con los préstamos en moneda local.

Administrar préstamos de gran envergadura bajo estas condiciones implica desafíos significativos. La tasa de interés aplicada debe contemplar el período de espera hasta la liquidación de la cosecha, lo que obliga a las entidades financieras a recurrir a otros instrumentos para sostener la rentabilidad en el corto plazo. Sin embargo, en varios países los bancos enfrentan restricciones para acceder a ciertos activos financieros que permitirían compensar este tipo de financiamiento, incluso cuando estos instrumentos se encuentran dentro del segmento de renta variable y presentan bajos niveles de riesgo. En Argentina, la Comisión Nacional de Valores y el Banco Central de la República Argentina imponen regulaciones estrictas sobre las inversiones permitidas para las entidades financieras, limitando su capacidad de diversificación y gestión del riesgo.

Adicionalmente, la Ley de Entidades Financieras N° 21.526 establece que los bancos deben destinar un aporte mensual del 0,015% del promedio mensual de los saldos diarios al Fondo de Garantía de los Depósitos (FGD), administrado por la empresa Seguros de Depósitos S.A. (SEDESA). Este mecanismo busca fortalecer la confianza en el sistema financiero y proteger a los depositantes, aunque, en la práctica, su efectividad depende de la solidez del esquema regulador y de la capacidad de los bancos para gestionar su exposición al riesgo.

En otros términos, la administración del crédito en el sistema bancario requiere un equilibrio entre rentabilidad, regulación y estabilidad financiera. La distorsión en la asignación de créditos ya sea por razones políticas o por estrategias de financiamiento de alto riesgo, puede comprometer la sostenibilidad del sistema bancario. La intervención estatal en el otorgamiento de créditos debe ser cuidadosamente monitoreada para evitar efectos adversos en la estructura de costos y en la eficiencia del sistema financiero en su conjunto. La implementación de regulaciones adecuadas, junto con una gestión prudente de los riesgos, resulta clave para fortalecer la solidez del sector bancario y garantizar su contribución al desarrollo económico.

2.5 Crisis bancarias revisitadas

Con el propósito de facilitar la comprensión del lector y vincular los problemas actuales con las deficiencias estructurales de la banca tradicional, se han seleccionado un conjunto de crisis bancarias de relevancia histórica y aparición relativamente reciente. Estas crisis, cuyas repercusiones traspasaron fronteras nacionales, ponen de manifiesto la fragilidad inherente a los sistemas financieros altamente centralizados, ya que ilustran cómo la concentración de riesgos y la dependencia en un número limitado de instituciones pueden desencadenar efectos de contagio de gran magnitud. Al analizar los factores desencadenantes, la respuesta de los entes reguladores y las repercusiones económicas y sociales de cada episodio, se busca no solo evidenciar las fallas en la supervisión y gobernanza características de la banca tradicional, sino también resaltar la urgente necesidad de explorar alternativas más descentralizadas, resilientes y transparentes para un sistema financiero global. De esta forma, se establece un marco comparativo entre los modelos vigentes y las propuestas emergentes que, como se expondrá a lo largo de esta tesis, ofrecen soluciones innovadoras y potencialmente más equitativas a los desequilibrios recurrentes de la intermediación financiera.

2.5.1 Argentina

A lo largo de la historia económica de Argentina, el país ha enfrentado diversas crisis de distinta magnitud y naturaleza. Entre las más recientes y significativas se encuentra la crisis de 2001, la cual marcó un punto de inflexión en el modelo económico vigente y desencadenó una severa crisis institucional.

Durante la presidencia de Fernando de la Rúa, electo en un contexto de recesión económica iniciada en 1999 bajo el régimen de la Ley N° 23.982 (Convertibilidad) —que establecía la paridad entre el peso argentino y el dólar estadounidense—, el gobierno intentó sostener dicho modelo a pesar de las dificultades macroeconómicas crecientes. La devaluación de la moneda en Brasil, principal socio comercial de Argentina, sumada a un alto nivel de endeudamiento externo y restricciones en los mecanismos de financiamiento, agudizó la fragilidad del sistema económico. Frente a este escenario, y bajo la supervisión del Fondo Monetario Internacional (FMI), se implementaron dos programas de estabilización: el Blindaje y el Megacanje.

El Blindaje consistió en un acuerdo financiero mediante el cual el FMI, junto con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial, el gobierno de España y un grupo de bancos comerciales locales, otorgó asistencia financiera a Argentina con el objetivo de garantizar el cumplimiento de sus compromisos de deuda y fortalecer la confianza de los inversores. A cambio, se establecieron una serie de medidas de ajuste fiscal que incluían: la rebaja en el gasto público social y de las transferencias a provincias, la desregulación del sistema previsional y el ajuste a las cuentas públicas provinciales.

El éxito de este esquema dependía de la renovación de títulos de deuda pública y la captación de nuevos fondos en los mercados financieros, lo que en teoría permitiría aliviar las necesidades de financiamiento del país. No obstante, la confianza de los inversores no logró consolidarse, y la medida solo consiguió frenar la salida de depósitos hasta marzo de 2001. A partir de ese mes, las crecientes dudas sobre el cumplimiento de las metas fiscales pactadas con el FMI provocaron una fuga de capitales sin precedentes: en solo un mes, los depósitos bancarios cayeron en USD 5.543 millones, la mayor salida mensual registrada en la historia argentina. En este contexto, renunció el ministro de Economía José Luis Machinea, quien fue reemplazado por Ricardo López Murphy. Sin embargo, su intento de implementar un ajuste fiscal por USD 2.000 millones, que implicaba recortes en áreas sensibles como educación y salud, generó un fuerte rechazo social y la renuncia de varios miembros del gabinete nacional. Tras apenas dos semanas en el cargo, López Murphy fue sucedido por Domingo Cavallo, quien había sido ministro de Economía durante la implementación de la Ley de Convertibilidad y era considerado una figura clave para restablecer la confianza en los mercados.

En este contexto, se diseñó el Megacanje, una operación de reestructuración de la deuda que buscaba extender los plazos de pago mediante el canje de bonos existentes por nuevos títulos con vencimientos más largos. El Congreso Nacional delegó facultades al Poder Ejecutivo para su implementación, aunque sin autorizar el uso de la recaudación impositiva como garantía de la deuda pública. Como resultado, la operación excluyó la deuda de las provincias y se limitó a la deuda nacional, lo que impidió reducir significativamente la tasa de interés. Según estimaciones de expertos, el Megacanje incrementó el stock de deuda en 53.000 millones de dólares entre capital e intereses.

El esquema fue impulsado por el banquero David Mulford, exsecretario del Tesoro de los Estados Unidos y ejecutivo del banco Credit Suisse First Boston, y aprobado por el ministro

Cavallo y su secretario de Política Económica, Federico Sturzenegger. Aunque el objetivo declarado era aliviar la carga de intereses y postergar los vencimientos de deuda, en la práctica el Megacanje terminó elevando el endeudamiento externo de Argentina de USD 80.000 millones en 2000 a USD 88.000 millones tras la operación. Asimismo, los pagos de intereses previstos para el período 2001-2031 aumentaron un 63%, pasando de USD 60.500 millones a USD 98.400 millones, mientras que la deuda pública total se incrementó de USD 124.400 millones a USD 126.600 millones.

Ante la persistente fuga de capitales y la creciente desconfianza de los mercados, el gobierno recurrió a un nuevo intento de reestructuración mediante el Decreto de Necesidad y Urgencia N° 1387, que estableció el canje de deuda pública por préstamos garantizados con impuestos federales. Esta operación, conocida como la Fase 1 de la reestructuración integral de la deuda, permitió la conversión de USD 55.000 millones a una tasa de interés no superior al 7% anual y con plazos de pago tres años más extensos. Sin embargo, la falta de liquidez de los nuevos instrumentos generó tensiones en el sistema bancario, agravando la crisis de confianza. Durante noviembre de 2001, los depósitos bancarios registraron una nueva caída de USD 2.917 millones, con un fuerte deterioro en la última semana del mes.

El FMI condicionó nuevos desembolsos a la aprobación del Presupuesto Nacional 2002 y a la implementación de la Fase 2 del canje de deuda, que buscaba reestructurar otros USD 40.000 millones en bonos. No obstante, la crisis política y económica alcanzó su punto crítico en diciembre de 2001, cuando el presidente De la Rúa renunció en medio de un colapso institucional que paralizó el proceso de reestructuración de la deuda.

A comienzos de diciembre, el FMI suspendió los desembolsos comprometidos, lo que aceleró la fuga de capitales. Ante esta situación, el ministro Cavallo anunció la implementación de una restricción sobre la extracción de depósitos bancarios, medida que fue conocida como el "Corralito". Esta disposición limitaba el retiro de efectivo a 250 pesos o dólares por semana, con el objetivo de forzar la bancarización de la economía y evitar el colapso del sistema financiero. Sin embargo, la medida tuvo un impacto devastador sobre la actividad económica, afectando especialmente a los trabajadores informales, cuyo porcentaje alcanzaba el 44,8% en ese momento, casi el doble que en 1994, cuando se situaba en el 28,4%.

El sistema bancario argentino no estaba preparado para afrontar una bancarización forzosa de tal magnitud. La medida generó un desafío operativo sin precedentes, con problemas en

la emisión masiva de tarjetas de débito, la capacitación en el uso de cajeros automáticos, la integración de bases de datos y la administración de transacciones interbancarias. Además, el Corralito paralizó el comercio exterior y el otorgamiento de créditos, afectando severamente a la economía real.

Como corolario de lo analizado hasta aquí, la crisis de 2001 en Argentina representó el colapso de un modelo económico basado en la convertibilidad y en un esquema de financiamiento externo insostenible. Las medidas adoptadas, lejos de solucionar los problemas estructurales, profundizaron el endeudamiento y la recesión, desencadenando una crisis de confianza que terminó con la caída del gobierno. La crisis dejó lecciones significativas sobre la fragilidad del sistema financiero y la importancia de políticas económicas sustentables, que consideren tanto la estabilidad macroeconómica como la viabilidad social de las medidas adoptadas.

2.5.2 Estados Unidos

La crisis de las hipotecas subprime fue una crisis financiera derivada de la desconfianza crediticia, que inicialmente afectó a los mercados financieros de Estados Unidos y posteriormente se extendió al ámbito internacional. Este fenómeno expuso la fragilidad del sistema hipotecario, en particular el mercado de préstamos de alto riesgo, denominados *subprime*. La problemática comenzó a evidenciarse en el verano de 2007 y tuvo su punto culminante en la crisis financiera global de 2008, afectando no solo a Estados Unidos, sino también a los mercados europeos y asiáticos.

Las hipotecas representaban un tipo de crédito hipotecario concedido a prestatarios con escasa solvencia y, por lo tanto, con un mayor riesgo de impago en comparación con los créditos convencionales. Como mecanismo de compensación, estos préstamos se caracterizaban por tasas de interés más elevadas que las de los préstamos personales, aunque con períodos iniciales promocionales de baja tasa. Adicionalmente, incluían comisiones bancarias considerablemente más gravosas para los prestatarios. La concesión de este tipo de financiamiento estaba regulada por la Reserva Federal, que imponía límites a su emisión mediante diversas normativas.

Uno de los aspectos clave de la crisis fue la capacidad de los bancos de retirar estos créditos de sus balances a través de la titulización financiera. Esto se lograba mediante la conversión

de las hipotecas en activos financieros negociables, que posteriormente eran transferidos a fondos de inversión, planes de pensiones y otras instituciones financieras. Este mecanismo permitió que los bancos liberaran capital para continuar otorgando préstamos, trasladando el riesgo a los compradores de estos productos. Sin embargo, la complejidad del sistema financiero globalizado hizo que muchos inversores, tanto institucionales como particulares, adquirieran estos instrumentos sin conocer plenamente el nivel de riesgo asociado.

Dentro de los productos financieros altamente sofisticados que contribuyeron al colapso del sistema se encuentran las *obligaciones colateralizadas mediante deuda* (*Collateralized Debt Obligations*, CDO). Estos instrumentos permitían agrupar múltiples hipotecas en paquetes de inversión, los cuales eran segmentados en tramos con diferentes niveles de riesgo y rentabilidad. Para aumentar su atractivo en el mercado, las agencias de calificación crediticia otorgaron a muchos de estos productos calificaciones de máxima calidad crediticia (*AAA*), indicando un supuesto riesgo mínimo de impago. Por ejemplo, Standard & Poor's estimó en apenas un 0,12% (1 entre 850) la probabilidad de impago de varias CDO en los cinco años posteriores a su calificación. No obstante, dichas evaluaciones subestimaron el riesgo real asociado a estos activos, lo que contribuyó a una sobrevaloración del mercado hipotecario.

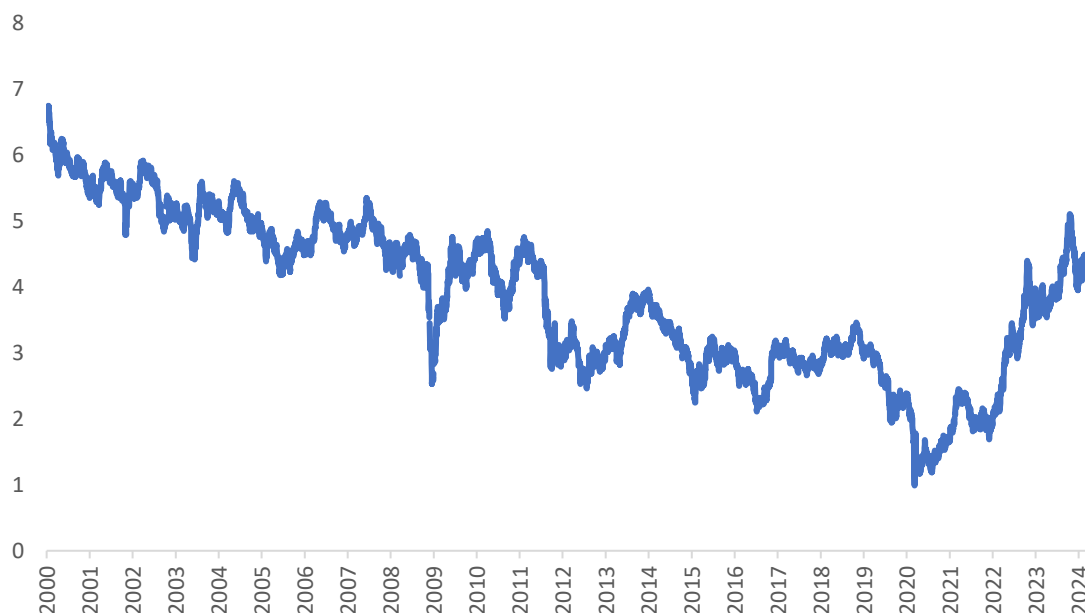
El punto de inflexión de la crisis hipotecaria se produjo en 2007, cuando los inversores comenzaron a percibir señales de riesgo elevado en el sector. La Reserva Federal, en un intento por contener la inflación, inició un proceso de elevación progresiva de las tasas de interés, lo que incrementó significativamente el costo del crédito. Como resultado, muchas familias con hipotecas *subprime* enfrentaron dificultades para cumplir con sus obligaciones financieras, lo que generó un aumento drástico en los niveles de morosidad y ejecuciones hipotecarias. Este fenómeno no solo afectó a los préstamos de alto riesgo, sino que se extendió al conjunto del sistema financiero, desencadenando una crisis de confianza que culminó en la quiebra de instituciones bancarias de gran relevancia y en una profunda recesión global.

La crisis de las hipotecas *subprime* puso de manifiesto las deficiencias estructurales del sistema financiero internacional, evidenciando la necesidad de una regulación más estricta sobre la concesión de crédito y la gestión del riesgo en los mercados financieros. La interconexión de los mercados y la falta de transparencia en la estructuración de productos financieros complejos fueron factores determinantes en la propagación de la crisis,

subrayando la importancia de una supervisión adecuada para evitar futuras crisis de similar magnitud.

Figura 3

Evolución de la tasa de interés (en % anual) de 30 años en Estados Unidos (2000 – 2024)



Nota. Elaboración propia basada en datos del Banco Mundial (2024).

Los factores que desencadenaron la crisis financiera a partir de la burbuja inmobiliaria fueron diversos y complejos. En primer lugar, se destaca la expansión de una burbuja especulativa vinculada a los activos inmobiliarios. Tras el colapso de la burbuja tecnológica entre los años 2000 y 2001, se produjo un desplazamiento masivo de capitales de inversión, tanto institucionales como particulares, hacia el sector inmobiliario. Este fenómeno fue potenciado por la inestabilidad generada tras los atentados del 11 de septiembre de 2001, lo que llevó a los principales bancos centrales a reducir los tipos de interés a niveles históricamente bajos con el objetivo de incentivar el consumo y la inversión a través del crédito. La combinación de estos factores dio lugar a una extraordinaria liquidez en el mercado inmobiliario, propiciando un alza sostenida en los precios de los bienes raíces.

En el caso de Estados Unidos, la especulación inmobiliaria estuvo acompañada de un elevado grado de apalancamiento financiero. La dinámica consistía en la adquisición de viviendas con fines especulativos, financiadas mediante hipotecas que se cancelaban con la reventa del inmueble, generando un nuevo crédito para la compra de otra propiedad. En

algunos casos, estas operaciones se financiaban mediante hipotecas puente, lo que incrementaba significativamente los niveles de endeudamiento. El alza sostenida en los precios de los bienes inmuebles reforzaba la percepción de rentabilidad del sector, lo que llevó a un crecimiento exponencial del crédito hipotecario y, en consecuencia, de la deuda privada.

Sin embargo, este escenario comenzó a cambiar drásticamente a partir de 2004, cuando la Reserva Federal de los Estados Unidos inició una política de incremento progresivo de las tasas de interés con el objetivo de contener la inflación. Entre 2004 y 2006, la tasa de interés pasó del 1% al 5,25%, lo que encareció el costo del financiamiento. Como resultado, el crecimiento en los precios de la vivienda, que había sido exponencial entre 2001 y 2005, se revirtió en una tendencia descendente. En agosto de 2005, tanto el valor de los inmuebles como la tasa de ventas comenzaron a caer abruptamente en varias regiones de Estados Unidos. Todo ello generó un aumento exponencial en los impagos y ejecuciones hipotecarias, lo que llevó a numerosas entidades financieras a enfrentar serios problemas de liquidez, al no poder recuperar los préstamos concedidos ni acceder a financiamiento en el mercado interbancario.

La crisis inmobiliaria se trasladó rápidamente a los mercados financieros, en gran parte debido a una incorrecta evaluación de los riesgos asociados a los productos financieros derivados de las hipotecas subprime. Esta sobrevaloración del riesgo, intencional o no, se vio amplificadas por la automatización de los mercados de valores, la falta de transparencia en la información disponible para los inversores particulares y el exceso de liquidez que caracterizó el período 2001-2007.

Las entidades bancarias obtenían liquidez a través de la securitización de los créditos hipotecarios, mediante la emisión de cédulas hipotecarias y otros instrumentos financieros complejos, como las *Collateralized Debt Obligations* (CDO), *Collateralized Loan Obligations* (CLO) y *Collateralized Mortgage Obligations* (CMO). El riesgo de los préstamos hipotecarios de alto riesgo fue así transferido a estos instrumentos de deuda y, posteriormente, a fondos de inversión y de pensiones. Aunque algunos analistas y organismos financieros habían advertido previamente sobre las vulnerabilidades de estos activos, el alcance del problema era incierto y se desconocía la magnitud del impacto en el sistema financiero global.

Las consecuencias de esta crisis fueron devastadoras para el sector bancario. Numerosas entidades financieras se vieron gravemente afectadas, hasta el punto de que algunas de las más importantes quebraron. Tal es el caso de Lehman Brothers, una de las principales firmas de banca de inversión de Estados Unidos, especializada en la gestión de activos financieros, inversiones en renta fija, banca comercial y servicios bancarios en general. Su colapso en septiembre de 2008 marcó un punto de inflexión en la crisis y evidenció la fragilidad del sistema financiero internacional.

Por otro lado, los tres mayores bancos de inversión estadounidenses, Goldman Sachs, Morgan Stanley y Merrill Lynch, recibieron miles de millones de dólares a través del *Troubled Asset Relief Program* (TARP), un programa de rescate financiero implementado por el gobierno de los Estados Unidos para mitigar los efectos de la crisis. Este programa tenía como objetivo principal proporcionar liquidez a las instituciones financieras y estabilizar el sistema crediticio mediante la compra de activos tóxicos, principalmente aquellos vinculados a hipotecas subprime. En su fase inicial, el costo estimado del TARP ascendía a aproximadamente USD 356.000 millones, representando entre el 1% y el 3% del Producto Bruto Interno (PBI) de los Estados Unidos.

En otros términos, la crisis de las hipotecas subprime evidenció las vulnerabilidades estructurales del sistema financiero global, caracterizado por una excesiva toma de riesgos, falta de transparencia y deficiencias en la regulación y supervisión de los mercados. La interconexión de las entidades financieras a nivel mundial amplificó los efectos de la crisis, subrayando la necesidad de reformas regulatorias más estrictas para evitar la repetición de eventos similares en el futuro.

2.5.3 Resto del mundo

La crisis de liquidez de septiembre de 2008 se convirtió en un evento de impacto global debido a una serie de acontecimientos críticos en el sistema financiero de los Estados Unidos. El colapso de Lehman Brothers Holdings Inc., que se declaró en quiebra, marcó un punto de inflexión en la crisis. A este evento le siguió la adquisición de Merrill Lynch por parte del Bank of America, así como la creciente incertidumbre sobre la estabilidad de la aseguradora American International Group (AIG), la cual requirió una intervención directa de la Reserva Federal el 16 de septiembre para evitar su colapso. Estas circunstancias desencadenaron una

serie de reacciones en cadena que obligaron a los bancos centrales de todo el mundo a realizar inyecciones masivas de liquidez en los sistemas financieros privados con el fin de contener el impacto de la crisis y evitar una parálisis del crédito global.

El efecto inmediato de estos eventos fue una fuerte caída en los mercados financieros. El primer día de operaciones tras la quiebra de Lehman Brothers, el *Dow Jones Industrial Average* (DIA) perdió un 4,4% de su valor, mientras que el índice *S&P 500* registró una caída del 4,7%. De manera similar, los mercados de préstamos en Asia y Europa también se vieron gravemente afectados. En respuesta a la creciente volatilidad y el temor a un colapso sistémico, los reguladores financieros del Reino Unido implementaron el 18 de septiembre una prohibición temporal sobre la venta en corto de títulos financieros, una medida que fue replicada en los Estados Unidos el 19 de septiembre.

El impacto de la crisis no se limitó a los Estados Unidos, sino que rápidamente se extendió a nivel global, generando respuestas coordinadas por parte de diversos bancos centrales. Entre las medidas más destacadas implementadas en los días posteriores al colapso de Lehman Brothers se encuentran las siguientes:

- **China:** El 15 de septiembre de 2008 redujo su tasa de interés por primera vez desde 2002, en un intento por estimular la economía y contener los efectos de la crisis.
- **Indonesia:** disminuyó en dos puntos porcentuales su tasa de *repo* a un nivel del 10,25%, facilitando así el acceso de los bancos comerciales a financiamiento de corto plazo por parte del banco central.
- **Australia:** El Banco Central inyectó aproximadamente USD 1.500 millones en el sistema bancario, una cifra casi tres veces superior a las necesidades estimadas del mercado en ese momento.
- **India:** El Banco de la Reserva de la India realizó una operación de refinanciación por un valor de USD 1.320 millones, la mayor inyección de liquidez en al menos un mes.
- **Taiwán:** el Banco Central redujo el coeficiente de reservas obligatorias por primera vez en ocho años el 16 de septiembre de 2008. Además, ese mismo día, inyectó USD 3.590 millones en el mercado interbancario de divisas.
- **Japón:** El Banco Central intervino en el sistema financiero el 17 de septiembre con una inyección de USD 29.300 millones, operando también en el mercado de divisas.

- **Europa:** El Banco Central Europeo (BCE) realizó una inyección de USD 99.800 millones en un solo día, reflejando la magnitud de la crisis y la urgencia de mantener la estabilidad financiera en la eurozona.
- **Reino Unido:** El Banco Central sumó USD 36.000 millones al sistema financiero con el objetivo de evitar un colapso del crédito y estabilizar el sector bancario.

En total, los bancos centrales de todo el mundo inyectaron más de USD 200.000 millones entre el inicio de la semana y el 17 de septiembre de 2008. Estas medidas extraordinarias reflejan la magnitud de la crisis de liquidez y la necesidad de una respuesta inmediata para evitar el colapso de los mercados financieros internacionales. La rápida intervención de los bancos centrales ayudó a mitigar temporalmente los efectos de la crisis, aunque el impacto en la economía global se seguiría sintiendo durante los años posteriores.

2.6 Hacia la descentralización financiera

Las finanzas descentralizadas representan una innovación disruptiva en el ámbito financiero, proporcionando alternativas a los sistemas tradicionales de préstamos, inversiones y otros servicios financieros. Estas innovaciones tienen el potencial de influir de manera significativa en la dinámica de las crisis bancarias, mitigando ciertos riesgos inherentes al sistema financiero convencional y ofreciendo estructuras más resilientes ante choques económicos.

El desarrollo de estos modelos financieros se basa en tecnologías emergentes, principalmente blockchain, lo que permite la creación de un sistema financiero más transparente, seguro y eficiente. En este esquema, las transacciones son gestionadas a través de contratos inteligentes, eliminando la necesidad de intermediarios como bancos y otras instituciones financieras. Esta automatización reduce significativamente el riesgo de fallas operativas y facilita la trazabilidad de todas las operaciones, dado que la información queda registrada en la cadena de bloques y es accesible para cualquier usuario del sistema.

Las plataformas descentralizadas abarcan una amplia gama de servicios financieros, incluyendo préstamos, compraventa de activos y productos de cobertura de riesgos, todo administrado sin la intervención de una autoridad central. La ausencia de un ente regulador

o de control reduce la vulnerabilidad ante fallas sistémicas y la posibilidad de abusos de poder, promoviendo un ecosistema más equitativo y accesible.

Uno de los principales factores que contribuyen a las crisis bancarias es el riesgo de contraparte, que se produce cuando una de las partes involucradas en una transacción no puede cumplir con sus obligaciones contractuales. El uso de contratos inteligentes minimiza significativamente este riesgo, ya que las acciones se ejecutan automáticamente según términos preestablecidos, sin intervención humana. Este mecanismo garantiza que las condiciones acordadas se cumplan de manera eficiente, reduciendo la exposición a incumplimientos y fraudes.

En este sentido, una de las ventajas fundamentales de la tecnología blockchain es su capacidad para proporcionar transparencia y trazabilidad en todas las transacciones financieras. Esta característica permite mitigar los riesgos asociados a prácticas bancarias opacas y a la acumulación descontrolada de activos riesgosos, factores que han sido recurrentes en la gestación de crisis bancarias a lo largo de la historia.

Otro aspecto clave es la ampliación del acceso a productos y servicios financieros con un mayor grado de democratización. A diferencia del sistema bancario tradicional, que impone barreras de entrada estrictas para individuos y pequeñas empresas, los modelos descentralizados permiten una mayor inclusión financiera. Esta accesibilidad no solo amplía las oportunidades económicas para sectores desatendidos, sino que también puede contribuir a una distribución más equitativa de recursos y riesgos, promoviendo una estabilidad económica más sostenible.

Las crisis bancarias, en vastas ocasiones, han estado directamente relacionadas con la confianza en las instituciones financieras centrales. En un entorno descentralizado, la dependencia de estos actores se reduce drásticamente, diversificando las fuentes de servicios financieros y minimizando la concentración de riesgos en un número reducido de entidades. La capacidad de operar sin una entidad centralizada disminuye el riesgo de colapsos sistémicos, como los observados durante la crisis financiera de 2008, donde la insolvencia de grandes instituciones generó un efecto dominó de gran escala.

La investigación de Gudgeon et al. (2020) sostiene que los sistemas financieros más diversificados y distribuidos presentan una menor propensión a fallas sistémicas y tienen una mayor capacidad de absorción ante choques económicos. En este sentido, la implementación de modelos financieros descentralizados podría contribuir a una mayor

resiliencia del sistema financiero global, mitigando los riesgos asociados a las crisis bancarias tradicionales y ofreciendo una alternativa viable para el desarrollo de un ecosistema financiero más sólido y sostenible.

2.6.1 Contratos Inteligentes y Tecnología Blockchain

Blockchain, concebida originalmente como la tecnología subyacente de Bitcoin, ha evolucionado más allá de las criptomonedas, ofreciendo aplicaciones en distintos sectores, particularmente en el financiero. Su estructura descentralizada y su capacidad para registrar transacciones de manera inmutable han sido fundamentales en la transformación del ecosistema financiero global. Se trata de un sistema de contabilidad distribuida que permite la creación de un registro seguro y transparente, donde cada bloque en la cadena contiene un conjunto de transacciones verificadas y enlazadas criptográficamente al bloque anterior. Esta característica asegura la continuidad, integridad y resistencia del sistema frente a manipulaciones.

Una de sus principales ventajas es la transparencia y trazabilidad, dado que todas las operaciones registradas pueden ser verificadas por cualquier participante de la red, reduciendo así el riesgo de fraude y corrupción. La posibilidad de auditar las transacciones en tiempo real contribuye a fortalecer la confianza en los sistemas financieros y comerciales. Además, la distribución de los registros entre múltiples nodos evita la existencia de un único punto de fallo, lo que incrementa la seguridad del sistema y lo protege contra ataques cibernéticos o fallos operacionales. Su inmutabilidad garantiza que la información almacenada no pueda ser alterada ni eliminada, asegurando la autenticidad de los datos históricos y proporcionando una prueba verificable de todas las transacciones efectuadas.

En este contexto, los contratos inteligentes representan una de las innovaciones más significativas en la evolución de esta tecnología. Propuestos inicialmente por Szabo (1997), estos contratos autoejecutables se activan de manera automática cuando se cumplen ciertas condiciones previamente establecidas. Su implementación elimina la necesidad de intermediarios, optimizando procesos y reduciendo costos operativos. Al ser programados para ejecutarse con precisión, garantizan que las obligaciones contractuales se cumplan sin la intervención de terceros, minimizando los errores y las disputas. Además, al ser visibles y

accesibles para todas las partes involucradas, proporcionan un nivel de transparencia que refuerza la credibilidad en su aplicación.

La combinación de estas herramientas ha impulsado el desarrollo de nuevas formas de prestación de servicios financieros, transformando la manera en que se realizan transacciones, se otorgan préstamos y se gestionan activos. Plataformas como Ethereum han permitido la automatización de múltiples servicios financieros mediante contratos inteligentes, reduciendo costos y tiempos de ejecución, al tiempo que fomentan una mayor inclusión financiera. (Wattenhofer, et al. , 2021).

Más allá del ámbito financiero, la trazabilidad que ofrece esta tecnología ha demostrado ser de gran utilidad en otros sectores. En las cadenas de suministro, por ejemplo, permite la verificación de la autenticidad de productos desde su origen hasta el consumidor final, lo que contribuye a mejorar la seguridad y calidad en los procesos logísticos. Asimismo, en los mercados energéticos, su implementación facilita transacciones más eficientes y transparentes, habilitando la creación de activos financieros respaldados por commodities y promoviendo un comercio más equitativo y accesible.

Desde la perspectiva de la estabilidad financiera, esta innovación tecnológica puede mitigar algunos de los factores estructurales que han contribuido a crisis bancarias recurrentes. La automatización de transacciones a través de contratos inteligentes minimiza el riesgo de contraparte, asegurando el cumplimiento de las obligaciones contractuales sin depender de la confiabilidad de los intermediarios tradicionales. Además, la visibilidad total de las operaciones reduce la posibilidad de prácticas financieras opacas y la acumulación no regulada de activos de alto riesgo, factores que han sido determinantes en la generación de crisis económicas en el pasado. Gudgeon et al. (2020) argumentan que la diversificación de los servicios financieros y la distribución de riesgos en un sistema descentralizado disminuyen la probabilidad de colapsos sistémicos, incrementando la resiliencia ante eventos adversos.

Otra de sus implicancias es su impacto en la confianza del público en los sistemas financieros. La combinación de seguridad, autonomía y acceso a la información permite reducir la dependencia de intermediarios centralizados, lo que puede contribuir a restaurar la estabilidad y legitimidad del sistema. La reducción de costos transaccionales y la eliminación de barreras de acceso podrían fomentar una mayor participación en el sector

financiero, promoviendo una redistribución más equitativa de los recursos y oportunidades económicas.

El desarrollo y adopción de estas herramientas representan una de las transformaciones más relevantes en el ámbito financiero y económico. Su capacidad para optimizar procesos, reducir costos operativos, incrementar la transparencia y minimizar los riesgos inherentes al sistema financiero tradicional las posiciona como un elemento clave en la evolución de la economía digital. Sin embargo, su implementación a gran escala requiere de un marco regulatorio adecuado que garantice su uso responsable y su integración con los sistemas financieros actuales. La aplicación efectiva de estas tecnologías, en combinación con regulaciones claras y mecanismos de supervisión eficientes, podría redefinir los paradigmas del sector financiero y contribuir a la construcción de una economía global más estable y equitativa.

2.6.2 Desarrollos descentralizados

La adopción de las finanzas descentralizadas ha permitido la consolidación de un ecosistema financiero en el que los usuarios pueden acceder a una amplia gama de servicios de manera eficiente, segura y sin la necesidad de intermediarios tradicionales. Este nuevo paradigma ha impulsado un modelo de gestión financiera basado en la automatización, la transparencia y la accesibilidad, reduciendo costos y riesgos asociados a la intermediación convencional.

Uno de los sectores en los que este modelo ha tenido mayor impacto es el de los préstamos descentralizados. A través de plataformas basadas en tecnología blockchain, los usuarios pueden otorgar y solicitar préstamos sin la intervención de entidades financieras tradicionales. La operatividad de estos préstamos se encuentra respaldada por contratos inteligentes, los cuales ejecutan automáticamente los términos previamente establecidos, garantizando el cumplimiento de las condiciones pactadas de manera eficiente y sin riesgo de manipulación. Esta automatización no solo reduce el tiempo de procesamiento de las transacciones, sino que también incrementa la seguridad y la transparencia en el proceso, eliminando la posibilidad de discrecionalidad o fraude en la asignación de créditos (Voshmgir, 2020).

Asimismo, el desarrollo de activos digitales, como los tokens no fungibles (NFT), ha introducido nuevas dinámicas en la gestión y comercialización de activos. La tokenización

de bienes digitales y físicos ha revolucionado la manera en que se poseen, transfieren y administran activos, proporcionando una infraestructura segura y verificable que facilita la trazabilidad y la autenticidad de las transacciones. Estos activos, al operar dentro de redes descentralizadas, amplían las posibilidades de inversión y propiedad, permitiendo el acceso a mercados globales sin las barreras tradicionales impuestas por las instituciones financieras y regulatorias.

El avance de estas innovaciones demuestra la creciente influencia de la descentralización en la transformación del sistema financiero, consolidando modelos alternativos que promueven mayor autonomía para los usuarios, optimización de procesos y una mayor inclusión en los mercados financieros. Sin embargo, su adopción masiva plantea desafíos regulatorios y estructurales que deberán abordarse para garantizar su integración sostenible en el ecosistema financiero global (Rohner, 2023).

2.6.3 Modelos de inteligencia artificial explicables

La Inteligencia Artificial Explicable (XAI, por sus siglas en inglés) ha emergido como una disciplina fundamental dentro del desarrollo de sistemas de inteligencia artificial, con el propósito de mejorar la transparencia y la interpretabilidad de los modelos automatizados. Su objetivo es permitir que los modelos de IA no solo tomen decisiones precisas, sino que también puedan justificar sus resultados de manera comprensible para los usuarios, lo que facilita la confianza y la aceptación de esta tecnología en distintos ámbitos. A diferencia de los modelos tradicionales, que suelen operar como cajas negras sin una justificación clara de sus procesos internos, XAI busca garantizar que las decisiones sean accesibles y comprensibles para todos los actores involucrados.

La transparencia, responsabilidad y confiabilidad en el uso de modelos de IA son elementos cruciales en sectores críticos como las finanzas, la salud y la seguridad. En estos ámbitos, la capacidad de justificar las decisiones tomadas por los algoritmos no solo es deseable, sino también necesaria para el cumplimiento de regulaciones, la supervisión de riesgos y la construcción de confianza entre los usuarios. En este sentido, la transparencia implica la capacidad de rastrear y comprender las reglas o patrones subyacentes en la toma de decisiones, mientras que la interpretabilidad se refiere a la claridad con la que un modelo puede explicar por qué y cómo se llegó a una conclusión específica. Esto es particularmente

relevante en la identificación y mitigación de sesgos en los datos, lo que contribuye a la equidad y a la minimización de riesgos asociados con decisiones automatizadas.

La capacidad de detectar y corregir sesgos en los modelos de IA es un aspecto esencial de XAI, ya que permite evitar decisiones discriminatorias y garantiza la equidad en la toma de decisiones. Además, los sistemas explicables facilitan la rendición de cuentas dentro de las organizaciones que utilizan inteligencia artificial para procesos de toma de decisiones, asegurando que estas puedan ser revisadas y ajustadas en conformidad con estándares regulatorios y principios éticos.

Para alcanzar este nivel de explicabilidad, se han desarrollado diversas técnicas y enfoques dentro de XAI. Los modelos intrínsecamente interpretables, como los árboles de decisión y la regresión lineal, ofrecen estructuras comprensibles que permiten a los usuarios analizar directamente la lógica detrás de las decisiones. Por otro lado, en modelos más complejos, como las redes neuronales profundas, se emplean técnicas post-hoc, como LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) y SHAP (SHapley Additive exPlanations), que facilitan la comprensión de sus predicciones sin modificar la estructura original del modelo. Adicionalmente, las visualizaciones juegan un papel fundamental en la explicación de los resultados de la IA, a través de herramientas como heatmaps, gráficos de relevancia de características y diagramas de dependencia parcial, que permiten a los usuarios interpretar la influencia de los datos de entrada sobre las decisiones finales (Molnar, 2020).

El impacto de XAI se extiende a múltiples sectores de aplicación. En el ámbito financiero, su integración es fundamental para explicar decisiones relacionadas con la concesión de crédito, la gestión de riesgos y la detección de fraudes, lo que permite a las instituciones optimizar su capacidad de análisis y reducir pérdidas asociadas a malas decisiones. En el sector salud, los modelos explicables facilitan la comprensión de diagnósticos y recomendaciones de tratamiento por parte de profesionales médicos, promoviendo una mayor confianza en los sistemas automatizados y mejorando la precisión de las intervenciones clínicas. En el campo de la seguridad, la implementación de XAI en sistemas de vigilancia y ciberseguridad permite interpretar y validar decisiones automatizadas, garantizando que las acciones tomadas en la prevención de actividades maliciosas sean justificadas y comprensibles para los analistas.

En el contexto de las criptomonedas y las finanzas descentralizadas, la aplicabilidad de XAI es particularmente relevante. La transparencia y capacidad explicativa de estos modelos

pueden facilitar la comprensión de la dinámica de los mercados digitales, ayudando a los usuarios a tomar decisiones informadas en sus inversiones. Mediante el análisis de encuestas y datos de mercado, los modelos de inteligencia artificial explicable pueden predecir patrones de adopción de criptomonedas y evaluar su impacto en la economía global, proporcionando información clave para desarrolladores, inversores y reguladores. Además, estos sistemas pueden identificar factores de riesgo en los mercados de criptoactivos, ofreciendo a los inversores herramientas avanzadas para la mitigación de pérdidas financieras y la gestión eficiente de sus portafolios.

Desde una perspectiva regulatoria, la implementación de XAI en el ecosistema de las criptomonedas puede contribuir a la conformidad con normativas financieras, al proporcionar claridad sobre los procesos operativos en la cadena de bloques. La capacidad de justificar las transacciones y actividades dentro de los mercados descentralizados puede facilitar la aceptación y regulación de estos activos por parte de las autoridades, promoviendo una mayor estabilidad y previsibilidad en el sector (Lundberg & Lee, 2017).

La inteligencia artificial explicable representa un avance sustancial en el desarrollo de modelos automatizados al proporcionar mayor transparencia, interpretabilidad y responsabilidad en el uso de estas tecnologías. En el contexto de las finanzas descentralizadas y los mercados de criptomonedas, su implementación puede no solo mejorar la comprensión del fenómeno, sino también optimizar el análisis financiero y facilitar la toma de decisiones estratégicas. Más allá del ámbito financiero, XAI también tiene el potencial de transformar sectores clave como la salud y la seguridad, garantizando que las decisiones automatizadas sean más comprensibles, equitativas y alineadas con principios éticos y regulatorios.

2.6.4 Modelos de redes neuronales

Las redes neuronales artificiales constituyen una herramienta fundamental en los campos de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. Inspiradas en el funcionamiento del cerebro humano, estas redes se estructuran en capas de neuronas artificiales que operan de manera conjunta para procesar y analizar grandes volúmenes de datos. Este enfoque ha demostrado ser excepcionalmente eficaz en numerosas aplicaciones en las cuales los métodos tradicionales no alcanzan los resultados esperados.

La arquitectura típica de una red neuronal artificial incluye una capa de entrada, una o varias capas ocultas, y una capa de salida. Cada neurona de una capa está conectada a múltiples neuronas de la capa siguiente a través de pesos sinápticos que se ajustan durante el proceso de entrenamiento. La capa de entrada recibe los datos en bruto que serán procesados por la red. Las capas ocultas subsecuentes transforman y analizan estos datos mediante la aplicación de funciones de activación, las cuales introducen no linealidad en el modelo y permiten el aprendizaje de patrones complejos. Finalmente, la capa de salida genera el resultado del modelo, que puede consistir en una clasificación, una regresión o la ejecución de una acción específica.

El entrenamiento de este tipo de redes consiste en suministrarles datos etiquetados y ajustar iterativamente los pesos de las conexiones neuronales para minimizar el error en las predicciones. Este proceso se lleva a cabo mediante algoritmos de optimización, como el descenso de gradiente, y mediante la utilización de funciones de pérdida que cuantifican el error del modelo. A través de sucesivas iteraciones de ajuste y retroalimentación, la red neuronal va mejorando su capacidad de predicción sobre los datos de entrenamiento y, eventualmente, sobre datos no vistos.

Las redes neuronales ofrecen importantes ventajas, entre ellas la capacidad de manejar datos no estructurados, como imágenes, texto o audio, y de modelar relaciones complejas entre variables. No obstante, también conllevan desafíos significativos. En particular, su entrenamiento eficaz suele requerir grandes volúmenes de datos etiquetados, lo cual puede ser una limitación en muchas aplicaciones. Además, el proceso de entrenamiento es computacionalmente intensivo, demandando hardware especializado como unidades de procesamiento gráfico de alto rendimiento. Por último, a menudo se considera que estos modelos actúan como una "caja negra", dado que las decisiones que producen no son fácilmente interpretables; esto dificulta su validación y el cumplimiento normativo en entornos donde la transparencia es crucial (Nakamura & Tanaka, 2021).

Existen diversos tipos de redes neuronales, cada uno orientado a ciertas aplicaciones específicas. Por ejemplo, las redes neuronales convolucionales han revolucionado el campo de la visión por computadora, posibilitando avances notables en tareas como el reconocimiento de imágenes, la detección de objetos y la segmentación semántica. Por su parte, las redes neuronales recurrentes y las arquitecturas basadas en transformadores han mejorado de forma significativa el procesamiento del lenguaje natural, facilitando tareas

como la traducción automática, el resumen de textos y la generación de lenguaje. Asimismo, las redes neuronales tradicionales, como los perceptrones multicapa, se emplean ampliamente en sistemas de recomendación para la personalización de contenido en plataformas digitales, entre ellas Netflix, Amazon o YouTube.

Finalmente, las redes neuronales también desempeñan un papel clave en la implementación de contratos inteligentes, particularmente en el ámbito financiero, por ejemplo en la creación de activos financieros. Los contratos inteligentes son programas autoejecutables cuyos términos están codificados en su estructura. Las redes neuronales pueden optimizar el funcionamiento de estos contratos mediante la previsión de fluctuaciones en los precios de los activos involucrados y el ajuste dinámico de sus condiciones contractuales. Del mismo modo, estas redes pueden analizar de forma simultánea múltiples factores que inciden en el valor de dichos activos, tales como la oferta y la demanda de mercado, las condiciones climáticas o las políticas económicas, proporcionando predicciones precisas y oportunas. De este modo, es posible diseñar contratos inteligentes que se adapten dinámicamente en función de estos pronósticos, lo cual asegura términos más equitativos y beneficiosos para todas las partes involucradas.

2.7 Consideraciones finales del capítulo

En este capítulo se analizó la dinámica de la centralización bancaria, desde su marco regulador y las instituciones involucradas, hasta la aparición y consolidación de diversas crisis financieras. El propósito principal fue exponer cómo la dependencia en un número limitado de grandes entidades puede amplificar los efectos negativos de un shock económico.

Estas tensiones históricas y estructurales que atraviesan al sistema financiero tradicional — en términos de concentración, fragilidad sistémica y desafíos de inclusión— constituyen el punto de partida para explorar, en el próximo capítulo, la arquitectura emergente de las finanzas descentralizadas. El ecosistema DeFi se presenta así como una posible respuesta, no exenta de contradicciones, a los límites del modelo centralizado, proponiendo nuevas formas de intermediación, gobernanza y generación de valor financiero que merecen ser analizadas desde una perspectiva tecnológica, institucional y productiva.

Síntesis de hallazgos principales

- Se demostró que la concentración de poder en la banca tradicional acarrea una vulnerabilidad estructural frente a episodios de desconfianza y corridas bancarias, dado que si las instituciones centrales fallan, el efecto dominó repercute en todo el sistema financiero.
- El repaso de casos emblemáticos (Argentina, Estados Unidos y otros) evidenció la influencia decisiva de la regulación bancaria y las políticas monetarias, así como la relevancia del factor humano (pánico financiero, comportamientos especulativos) en la agravación o mitigación de dichas crisis.

Relación con los objetivos de la tesis

- **Objetivo General:** Este capítulo aporta la perspectiva histórica y conceptual sobre cómo operan las crisis bancarias en un entorno dominado por la centralización. Así, contribuye a una visión integral del impacto que tienen las estructuras financieras convencionales en la recurrencia de crisis, y prepara el terreno para contrastar estos hallazgos con la propuesta de descentralización que se desarrolla en los siguientes capítulos.
- **Objetivo Específico 1** (Mitigación de riesgos financieros e inclusión económica): Aunque en este capítulo no se abordan aún las DeFi, el conocimiento de por qué y cómo los sistemas centralizados fallan permite, posteriormente, evaluar la capacidad de los modelos descentralizados para reducir riesgos sistémicos y promover la inclusión.
- **Objetivos Específicos 2 y 3** (Marco normativo y contable, y diseño de modelos predictivos): Si bien la discusión regulatoria y los modelos de IA se desarrollan en capítulos posteriores, el diagnóstico sobre la fragilidad de la banca centralizada sienta las bases para comprender la necesidad de esquemas alternativos que requerirán, por un lado, nuevas normativas y, por otro, herramientas predictivas que ayuden a manejar la volatilidad y anticipar crisis.

Relación con las hipótesis de investigación

Hipótesis General:

Este capítulo respalda la idea central de la tesis, que sostiene que la centralización financiera es un factor clave en la recurrencia de crisis sistémicas y que la descentralización, en principio, podría ofrecer alternativas más resilientes. Se evidenció que las crisis bancarias tradicionales derivan, en gran medida, de la concentración del crédito y la liquidez en unos pocos intermediarios, lo que refuerza la pertinencia de explorar soluciones descentralizadas.

Hipótesis Específicas:

- **Hipótesis Específica 1: Las DeFi pueden atenuar la recurrencia de crisis bancarias.**

Este capítulo demuestra que las crisis financieras centralizadas se generan por la dependencia excesiva en un número reducido de intermediarios, la opacidad en la gestión de riesgos y la reacción tardía de los reguladores. Estos factores sugieren que un modelo más descentralizado, al distribuir los riesgos y democratizar el acceso al crédito y la liquidez, podría reducir la propagación de crisis sistémicas. Sin embargo, este capítulo también deja en claro que la ausencia de regulación en un sistema puramente descentralizado puede conllevar sus propios desafíos, lo que implica la necesidad de un modelo de descentralización regulada.

- **Hipótesis Específica 2: La ausencia de un marco regulatorio y contable unificado entorpece la adopción de criptomonedas.**

El análisis de las crisis bancarias demuestra que la regulación financiera es un factor determinante en la estabilidad del sistema, pero que su aplicación excesivamente restrictiva o desigual puede generar efectos adversos. La falta de estándares claros ha dificultado históricamente la integración de nuevas tecnologías financieras, lo que se retoma en capítulos posteriores en el análisis de las barreras regulatorias para la adopción de criptomonedas y DeFi.

- **Hipótesis Específica 3: La aplicación de IA y modelos XAI incrementa la predictibilidad y reduce riesgos en mercados cripto.**

Aunque este capítulo se centra en la banca tradicional, expone cómo la falta de herramientas predictivas avanzadas contribuyó a la falta de respuesta temprana en diversas crisis. Este hallazgo refuerza la pertinencia de explorar en los próximos capítulos cómo la IA y los modelos XAI pueden proporcionar mecanismos más eficaces para la detección y gestión de riesgos en un ecosistema financiero descentralizado.

- **Hipótesis Específica 4: Las tecnologías subyacentes a las finanzas descentralizadas fomentan la innovación y mejoran la eficiencia de los servicios financieros.**

La centralización bancaria limita la innovación debido a la rigidez regulatoria y burocracia. Las DeFi, en contraste, permiten mayor flexibilidad y reducción de costos, lo que podría traducirse en una eficiencia operativa superior.

- **Hipótesis Específica 5: La adopción de criptomonedas y finanzas descentralizadas impulsa la creación de mecanismos más robustos de seguridad y confianza dentro del ecosistema financiero.**

La confianza en los sistemas financieros centralizados ha sido erosionada por crisis recurrentes. Aunque las DeFi también enfrentan desafíos en seguridad, la aplicación de tecnologías blockchain ofrece nuevas oportunidades para mitigar riesgos de fraude y manipulación de mercado.

Limitaciones y consideraciones puntuales

La selección de crisis bancarias recientes y ejemplos emblemáticos (Argentina, EE. UU.) ilustra diferentes realidades históricas y regulatorias, pero no abarca la totalidad de variantes globales. Una ampliación de casos—por ejemplo, en Asia o África—podría reforzar la validez externa de los hallazgos.

A su vez, los comportamientos humanos (pánico, especulación) varían según la cultura financiera de cada país, por lo que existen factores psicosociales no tratados en detalle aquí, que también inciden en la reacción del público ante la centralización bancaria.

Tras evidenciar el rol de la centralización como un factor de fragilidad en la génesis y propagación de crisis, en el Capítulo 3 se introducen las Finanzas descentralizadas, su marco

conceptual y sus potenciales ventajas para mitigar algunos de los problemas estructurales descritos. Se examinará el fundamento tecnológico de blockchain y los contratos inteligentes, planteando soluciones que, en teoría, podrían dispersar riesgos y reducir la dependencia en unos pocos intermediarios, abordando así los objetivos planteados en la tesis y contribuyendo a una visión más integral de la reconfiguración financiera que se propone.

Capítulo 3

Arquitectura emergente de las finanzas descentralizadas

En el presente capítulo se analizará en profundidad el ecosistema de las finanzas descentralizadas, abordando sus fundamentos tecnológicos y su impacto en el ámbito financiero, abarcando la concepción de su nacimiento como las principales evidencias que fueron marcando su desarrollo.

3.1 Conceptualización DeFi

Según Mendoza Tello (2018), las finanzas descentralizadas pueden definirse como un conjunto de aplicaciones financieras que operan sobre redes blockchain, permitiendo la ejecución de transacciones sin la intervención de intermediarios tradicionales como bancos o corredores de bolsa. En términos generales, este ecosistema financiero introduce un nuevo paradigma basado en la descentralización de servicios financieros, aprovechando la automatización de procesos mediante contratos inteligentes para garantizar la eficiencia y seguridad de las transacciones.

El impacto de esta innovación tecnológica es notable en la prestación de servicios como la concesión de préstamos, la compraventa de activos digitales y la especulación mediante derivados. Estas operaciones se llevan a cabo a través de plataformas diseñadas para maximizar la eficiencia y minimizar los costos de intermediación. Además, la capacidad de automatizar procesos financieros mediante protocolos algorítmicos incrementa la seguridad de las operaciones y amplía el acceso a productos financieros a segmentos tradicionalmente excluidos del sistema bancario.

En este contexto, la informática desempeña un rol central en la expansión y consolidación de estos modelos descentralizados. El crecimiento exponencial del acceso a internet, la proliferación de modelos de intercambio de información entre usuarios (*peer-to-peer* o P2P) y entre empresas (*business-to-business* o B2B), así como el desarrollo de bases de datos avanzadas, han generado un entorno propicio para la evolución de la infraestructura financiera digital.

Históricamente, las transacciones bancarias se realizaban de forma presencial mediante órdenes firmadas, para luego evolucionar hacia sistemas de verificación telefónica y, finalmente, hacia plataformas digitales disponibles en todo momento. La banca tradicional ha reconocido la necesidad de integrar nuevas tecnologías a fin de optimizar sus procesos y reforzar la seguridad ante el creciente volumen de usuarios y operaciones. En este sentido,

han surgido diversas estrategias destinadas a mitigar los riesgos asociados a la digitalización, tales como:

- Protección de la información y confidencialidad de los datos financieros.
- Prevención de fraudes y robos vinculados a transacciones digitales.
- Mitigación de riesgos derivados de ataques cibernéticos, como el *phishing* y la clonación de tarjetas.
- Desarrollo de modelos de *compliance* y control de transacciones mediante tecnologías de identificación biométrica y autenticación multifactorial.

Estos avances han permitido mejorar la seguridad en las operaciones financieras y facilitar la integración de nuevas herramientas de gestión de riesgos. Sin embargo, la transición hacia una infraestructura digitalizada no ha estado exenta de desafíos.

Un caso ilustrativo de la relevancia de la digitalización en el ámbito financiero es el impacto de la pandemia de COVID-19 en el período 2020-2021. La imposición de medidas de confinamiento y la reducción de la actividad presencial evidenciaron la necesidad de contar con plataformas digitales robustas capaces de sostener la operatividad financiera en un entorno de restricción física. Aquellas instituciones que no habían desarrollado infraestructuras adecuadas para la gestión remota de operaciones enfrentaron dificultades significativas en la prestación de servicios.

La crisis sanitaria generó un aumento exponencial en el comercio electrónico y en el uso de canales digitales para la realización de pagos y transferencias. De acuerdo con Britez (2020), en Argentina, las empresas que antes de la pandemia comercializaban hasta un 25% de sus productos a través de plataformas en línea, incrementaron su participación en el comercio digital hasta un 30,5% durante el período de confinamiento. Este fenómeno puso de manifiesto la importancia de la transformación digital en la sostenibilidad y competitividad del sector financiero.

Por último, las finanzas descentralizadas representan una evolución significativa en la configuración de los mercados financieros, promoviendo una mayor accesibilidad y eficiencia mediante la eliminación de intermediarios y la automatización de procesos. El uso de tecnologías avanzadas como blockchain y contratos inteligentes ha permitido una transformación del ecosistema financiero, brindando nuevas oportunidades para la gestión de activos y la optimización de transacciones en un entorno digitalizado y seguro. Sin

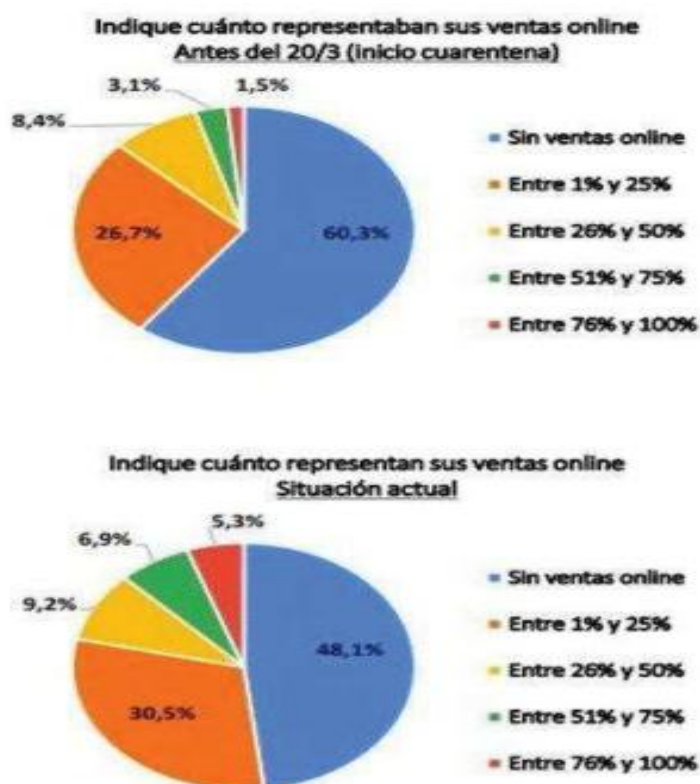
embargo, su implementación conlleva desafíos regulatorios y técnicos que requieren un análisis continuo para garantizar la estabilidad y confianza en estos nuevos modelos financieros.

3.2 Digitalización financiera

El comercio electrónico experimentó un crecimiento exponencial en un periodo de tiempo excepcionalmente breve, un desarrollo que, en circunstancias ordinarias, habría requerido varios años. Este fenómeno transformó de manera radical los patrones de consumo y aceleró la digitalización en diversos sectores económicos. La masificación del uso de dispositivos móviles, la expansión del acceso a internet en prácticamente toda América Latina y la creciente incorporación de la clase media a los ecosistemas digitales han impulsado la consolidación de nuevas estrategias comerciales. En este contexto, aquellas empresas que logren fortalecer y sofisticar sus canales de comercialización digital estarán mejor posicionadas para afrontar la nueva configuración del mercado, caracterizada por una integración cada vez más profunda del comercio electrónico en la experiencia de compra de los consumidores.

Figura 4

Volumen de ventas antes y durante la Pandemia (2020 – 2021).



Nota. Tomado de Cámara de Comercio y Servicios de Argentina (2023).

El mercado digital en América Latina mantiene una trayectoria de crecimiento sostenido a un ritmo acelerado, en contraste con las economías más desarrolladas, donde la expansión del sector ha mostrado signos de desaceleración. La demanda por bienes y servicios diversificados, de calidad y con opciones de acceso más flexibles continuará en ascenso conforme los consumidores adopten tendencias globales y exploren nuevas formas de interacción comercial. No obstante, para maximizar el potencial de crecimiento en la región, resulta fundamental consolidar la confianza del consumidor a través de esquemas de pago adaptados a las particularidades locales. Esto implica la implementación de soluciones de pago en efectivo, tarjetas de crédito nacionales y planes de financiamiento, dado que una fracción significativa de la población dispone de recursos para realizar adquisiciones, pero enfrenta limitaciones cuando los proveedores solo aceptan medios de pago internacionales.

El impacto de la digitalización financiera puede ser analizado en dos fases críticas: el período previo y el posterior a la flexibilización del comercio electrónico. De acuerdo con Britez (2020), tras la habilitación de la venta minorista en línea, se registró un incremento del 111% en la facturación, un aumento del 54% en la cantidad de órdenes de compra y una expansión del 87% en la cantidad de productos comercializados, en comparación con la etapa anterior. Empresas fintech y plataformas de pago digital, como Mercado Pago, supieron capitalizar esta transformación mediante el desarrollo de modelos transaccionales totalmente digitales. En contraposición, el sector bancario tradicional evidenció dificultades en la adaptación a la nueva dinámica de demanda, dada su histórica dependencia de la atención personalizada y la limitada familiaridad de ciertos segmentos de usuarios con las plataformas digitales. Esta situación obligó a las entidades bancarias a reformular su estructura operativa, extendiendo horarios de atención, fortaleciendo sus servicios en línea y optimizando sus procesos de gestión.

Paralelamente, el incremento en la utilización de medios de pago electrónicos generó una mayor exposición a riesgos asociados a la seguridad digital, representando un desafío sustancial para el sistema financiero global. Según el Informe de Inclusión Financiera (2021) en nuestro país, el porcentaje de localidades con al menos un punto de acceso a servicios bancarios aumentó del 41,9% en diciembre de 2019 al 48,3% en diciembre de 2020. Mientras que los bancos públicos expandieron su infraestructura de acceso, incluyendo nuevas sucursales, cajeros automáticos y terminales de autoservicio, las entidades privadas

redujeron su presencia física y redirigieron su enfoque hacia modelos de agencias complementarias de servicios financieros. A finales de 2020, más de 31 millones de personas en la región poseían al menos una cuenta bancaria, reflejando un avance sustancial en los niveles de bancarización impulsado por la transformación digital.

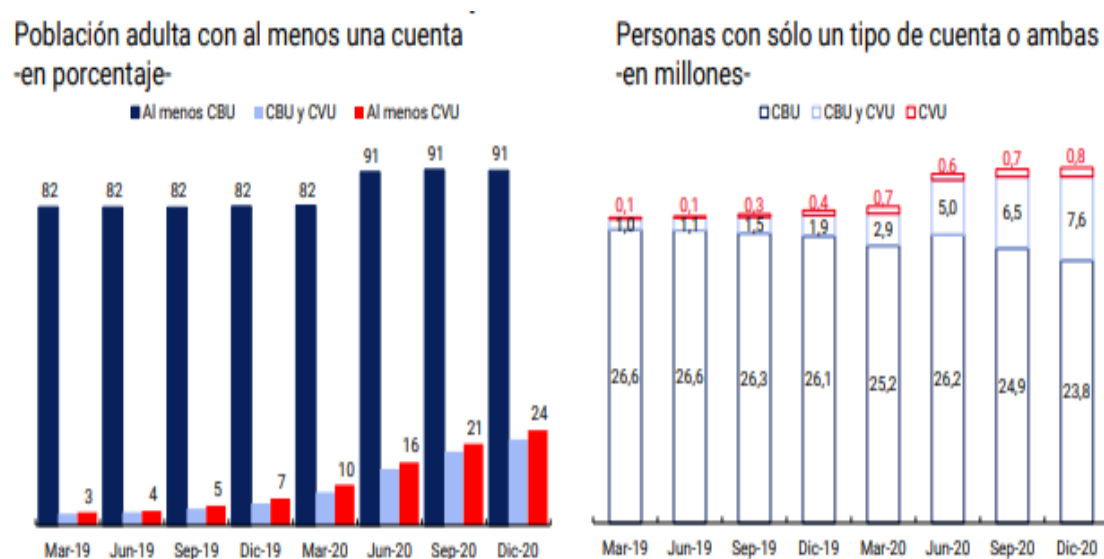
El uso de canales electrónicos de pago experimentó un crecimiento exponencial durante 2020, duplicando los niveles previos. Según el mismo informe, por cada 100 extracciones de efectivo, se registraron 222 transferencias digitales. La composición de estos movimientos se desagregó en un 50% mediante tarjetas de débito, un 35% con tarjetas de crédito, un 12% a través de transferencias interbancarias y un 3% mediante otros mecanismos digitales. Este cambio estructural en las preferencias financieras obligó a las instituciones bancarias a rediseñar su modelo de negocio, con un énfasis en el fortalecimiento de sus plataformas digitales, la optimización de la calidad del servicio, la implementación de protocolos de seguridad más rigurosos y la capacitación de su personal para operar en un entorno digital altamente dinámico.

La infraestructura financiera desempeña un papel central en la accesibilidad y eficiencia de los servicios bancarios, tanto para individuos como para empresas. Su capacidad de ofrecer soluciones presenciales y digitales incide directamente en la inclusión financiera y en la estabilidad del sistema. La pandemia evidenció la necesidad imperiosa de contar con una arquitectura financiera resiliente y eficiente, capaz de garantizar la continuidad de las operaciones en escenarios de crisis. Previo a este contexto, los procesos de apertura de cuentas bancarias se caracterizaban por una elevada burocracia y la exigencia de documentación que no siempre era gestionada eficientemente por los usuarios. Adicionalmente, las entidades financieras aplicaban criterios de selección estrictos, evaluando parámetros como coeficientes beta, niveles de apalancamiento, historiales crediticios y volúmenes transaccionales, lo que limitaba el acceso de ciertos segmentos poblacionales al sistema bancario.

Asimismo, la acelerada digitalización impulsada por la pandemia ha generado una transformación estructural en la dinámica de los servicios financieros y el comercio electrónico. La capacidad de adaptación y evolución de las instituciones financieras y los actores comerciales determinará su competitividad y sostenibilidad en un entorno caracterizado por la creciente digitalización y la demanda de soluciones transaccionales ágiles, seguras y eficientes.

Figura 5

Tenencia de Cuentas Bancarias y No Bancarias (2019-2020).



Nota. Gráfico izquierdo: (a) Al menos una CBU: tenedores de al menos una cuenta bancaria, pudiendo poseer más de una cuenta bancaria y cuentas no bancarias; (b) Al menos una CVU: similar aclaración a CBU; y (c) CBU y CVU: personas que poseen al menos una cuenta bancaria y una no bancaria. Tomado de Banco Central de la República Argentina (BCRA, 2020).

El nivel de penetración de cuentas bancarias alcanzó el 91% de la población adulta en diciembre de 2020, lo que equivale a más de 31 millones de personas con acceso al sistema financiero formal (Informe de Inclusión Financiera, 2021). En términos comparativos, este porcentaje ya era considerablemente elevado en relación con economías de similar nivel de ingresos a principios de 2019. No obstante, la apertura récord de más de cinco millones de cuentas bancarias durante el segundo trimestre de 2020 explica el incremento del 9% observado entre marzo y junio de ese año (equivalente a más de tres millones de nuevos titulares de cuentas), permitiendo alcanzar niveles equiparables a los de economías desarrolladas. Asimismo, las cuentas ofrecidas por los Proveedores de Servicios de Pago (PSP), comúnmente denominadas "cuentas no bancarias", registraron un crecimiento sustancial, pasando de una cobertura del 3% de la población adulta en marzo de 2019 al 24% en diciembre de 2020, lo que representa más de ocho millones de personas con acceso a este tipo de servicios financieros. Este aumento, distribuido a lo largo de todos los trimestres, se aceleró significativamente durante el primer y segundo trimestre de 2020, con tasas de variación del 51% y 55% respectivamente, lo que se tradujo en la incorporación de 1,2 y 2

millones de nuevos usuarios en cada período. De esta manera, las cuentas no bancarias se consolidaron como el segundo mecanismo de acceso financiero más relevante al cierre del año 2020.

Desde una perspectiva de inversión, se registró un promedio de 10,5 plazos fijos cada 100 titulares de cuentas bancarias, cifra inferior al promedio de los últimos dos años (11,5). Sin embargo, en términos de montos invertidos, los plazos fijos de personas humanas en moneda local experimentaron un crecimiento del 9,3% en términos reales durante 2020, mientras que los depósitos a plazo del sector privado no financiero evidenciaron un incremento cercano al 30%, con un dinamismo particularmente marcado en los instrumentos ajustables por UVA con opción precancelable. No obstante, en términos de rendimiento, estos instrumentos experimentaron una reducción en su rentabilidad. Este fenómeno puede explicarse por el contexto extraordinario derivado de la pandemia de COVID-19, que introdujo factores de incertidumbre en los mercados financieros y modificó temporalmente las expectativas de los inversores. No obstante, se asumía que la crisis sanitaria no tendría un carácter estructural permanente, sino que eventualmente daría lugar a un proceso de normalización progresiva en la actividad económica. Esta reconfiguración del entorno financiero impulsó una transformación en el sector bancario tradicional, el cual debió incorporar nuevas soluciones tecnológicas para mejorar su operatividad y preservar la estabilidad del sistema de reservas.

Si bien el Informe de Inclusión Financiera (2021) destaca el incremento en la apertura de cuentas bancarias, impulsado en gran medida por la necesidad de evitar el uso de efectivo en un contexto de restricciones sanitarias, este análisis omite ciertas problemáticas estructurales que incidieron en la digitalización de los servicios financieros. Entre ellas, se destacan las limitaciones en la conectividad a internet, la saturación de los sistemas bancarios, la disminución en la velocidad de procesamiento de pagos, la implementación de procedimientos adicionales de verificación y la falta de alfabetización digital en determinados segmentos de la población, particularmente en adultos mayores. De acuerdo con la Encuesta Nacional del Uso del Tiempo (2022), la sobrecarga de tareas de cuidado no remuneradas, desempeñadas mayoritariamente por mujeres, tuvo un impacto significativo en la administración de las finanzas familiares durante el confinamiento, dado que la interrupción de la atención presencial en las entidades bancarias trasladó la responsabilidad de estas gestiones a otros canales. Como consecuencia, muchas personas sin experiencia suficiente en el uso de plataformas digitales, tanto jóvenes como adultos mayores, se vieron

expuestas a riesgos vinculados a fraudes, errores operativos y dificultades en la comprensión de los procedimientos transaccionales.

En paralelo, la adopción del trabajo remoto propició la consolidación del fenómeno del nómada digital, caracterizado por profesionales que utilizan tecnologías digitales para desempeñar sus funciones sin necesidad de un lugar de trabajo fijo. Estos trabajadores, que suelen ofrecer sus servicios a clientes internacionales bajo la modalidad freelance, reciben sus ingresos en divisas extranjeras, particularmente en dólares estadounidenses. Sin embargo, en el caso de Argentina, la normativa del Banco Central impone restricciones al acceso al Mercado Único y Libre de Cambios (MULC), lo que dificulta la apertura de cuentas bancarias en moneda extranjera. Para ello, los usuarios deben cumplir una serie de requisitos formales, incluyendo la presentación de declaraciones juradas de ingresos, la acreditación del origen de los fondos y la demostración de ausencia de limitaciones fiscales y legales, entre otros condicionantes. En consecuencia, este segmento de trabajadores enfrenta obstáculos significativos para el cobro de sus honorarios en moneda extranjera.

Como resultado, recurren a servicios de billeteras digitales que, si bien facilitan la recepción de pagos, imponen costos elevados de transacción. Por ejemplo, *Payoneer* aplica un cargo del 0,5% sobre cada transferencia, al que se suman costos de mantenimiento de cuenta, tarifas asociadas al volumen de transacciones y costos adicionales por el envío de tarjetas físicas. Además, al operar fuera del ámbito regulador del B.C.R.A, estas plataformas carecen de mecanismos de protección robustos para los usuarios. A pesar de cumplir con ciertos estándares de seguridad, se han registrado incidentes relacionados con fraudes y restricciones en la disponibilidad de fondos, lo que genera un riesgo adicional para los trabajadores que dependen de estos servicios.

Frente a estas limitaciones, las finanzas descentralizadas (DeFi) han emergido como una alternativa innovadora que amplía las posibilidades de acceso a servicios financieros. La tecnología blockchain posibilita la creación de redes descentralizadas y seguras que pueden aplicarse a múltiples usos, entre ellos, las transacciones financieras. En los últimos años, el creciente interés en estos desarrollos ha permitido que las DeFi se consoliden como un mecanismo que no solo promueve la inclusión financiera, sino que también reduce la dependencia de intermediarios centralizados. Como señala Mendoza Tello (2018), las criptomonedas constituyen un elemento disruptivo en la arquitectura financiera global, ya que facilitan transacciones sin restricciones geográficas ni requerimientos bancarios

convencionales, permitiendo que individuos tradicionalmente excluidos del sistema financiero accedan a productos y servicios financieros avanzados.

Desde esta perspectiva, el concepto de "democratización del acceso a los servicios financieros" adquiere una relevancia particular. Las criptomonedas pueden proporcionar herramientas de pago y ahorro a sectores que, debido a limitaciones económicas o burocráticas, se encuentran excluidos del sistema financiero tradicional. Además, su operatividad no requiere validaciones basadas en antecedentes personales, lo que evita discriminaciones en función del historial crediticio. De esta manera, el protocolo de funcionamiento de estos activos digitales fomenta la equidad en el acceso a oportunidades económicas. Esta transformación se materializa mediante la implementación de contratos inteligentes (smart contracts), que operan sobre cadenas de bloques (blockchain) para dar origen a un ecosistema financiero descentralizado. En este sentido, la evolución de las criptomonedas y las plataformas DeFi representa un cambio de paradigma en la intermediación financiera, permitiendo una mayor autonomía en la gestión de activos y un acceso más equitativo a los servicios financieros globales.

3.3 Estructura de las Finanzas descentralizadas

Como se mencionó en el apartado anterior, el enfoque central de este análisis se articula en torno a tres pilares fundamentales:

- **Smart Contracts (Contratos Inteligentes)**
- **Blockchain (Cadena de Bloques)**
- **Criptomonedas**

Cada uno de estos elementos será abordado en profundidad, detallando su definición, estructura y características esenciales. Asimismo, se examinará el propósito que cumplen dentro del ecosistema financiero descentralizado y su impacto en la transformación de los modelos tradicionales de intermediación.

3.3.1 Smart Contracts

Los acuerdos autoejecutables, comúnmente denominados contratos inteligentes, constituyen programas informáticos diseñados para ejecutarse de manera automática cuando se cumplen determinadas condiciones preestablecidas. Su desarrollo se basa en la tecnología de registros distribuidos, garantizando así un entorno de transacción inmutable, transparente y altamente seguro. Estos instrumentos tecnológicos permiten optimizar y automatizar múltiples procesos empresariales, incluyendo la gestión de pagos, la verificación de identidad y la ejecución de acuerdos comerciales, entre otros. Asimismo, sirven como base para la creación de aplicaciones descentralizadas (DApps), las cuales operan en redes distribuidas sin la necesidad de una autoridad central.

Es importante distinguir entre los contratos inteligentes y los contratos legales inteligentes, dado que no todo contrato basado en tecnología informática posee validez jurídica. Según Tapscott & Tapscott (2016), un contrato legal inteligente debe cumplir con los requisitos exigidos por la jurisdicción en la que pretende ser aplicado y ser susceptible de ejecución por parte de una autoridad judicial. En cambio, los contratos inteligentes, en su mayoría, se limitan a la ejecución de términos programados sin implicaciones legales explícitas, lo que los diferencia sustancialmente de los acuerdos jurídicos tradicionales.

El concepto de contratos autoejecutables fue propuesto por el informático Szabo (1993), quien visualizó la posibilidad de trasladar mecanismos contractuales altamente sofisticados al ámbito digital, aprovechando los avances en criptografía y comercio electrónico. No obstante, en aquel momento no existía una infraestructura capaz de soportar su implementación efectiva. Con el surgimiento de la tecnología blockchain, estos programas adquirieron un rol fundamental en la automatización de acuerdos y en la transformación de diversos sectores industriales. La descentralización que caracteriza a esta tecnología garantiza que las transacciones sean verificadas por múltiples participantes, eliminando la necesidad de confianza en una entidad única.

Los contratos inteligentes operan bajo una lógica condicional del tipo "if-then" (si-entonces), lo que permite su ejecución sin intervención humana. En otras palabras, cuando se cumplen las condiciones predefinidas, el programa activa automáticamente las disposiciones establecidas en el acuerdo. Su principal ventaja radica en la eliminación de intermediarios, reduciendo costos de transacción y aumentando la seguridad jurídica en diversos ámbitos financieros y comerciales (Blockchain, bitcoin y criptomonedas, 2018). Esta infraestructura también facilita la transferencia de valor digital, permitiendo el desarrollo de aplicaciones

descentralizadas en sectores como el financiero, el comercio internacional, la gestión de identidades digitales y la logística.

Desde una perspectiva técnica, estos sistemas se implementan mediante estructuras criptográficas avanzadas, como los Árboles de Merkle¹ y los mecanismos de tolerancia a fallos bizantinos², los cuales optimizan la verificación y ejecución de las transacciones dentro de redes distribuidas. Cada nodo en la red actúa como un registro descentralizado de propiedad y garantía, supervisando la ejecución de los términos establecidos y validando automáticamente las condiciones contractuales. Este esquema resulta particularmente útil en la emisión y gestión de instrumentos financieros, tales como bonos, acciones y otros activos digitales.

Adicionalmente, los contratos inteligentes han sido empleados en el desarrollo de agentes autónomos, programas diseñados para llevar a cabo tareas específicas sin intervención humana. Un ejemplo de ello son los servicios de almacenamiento descentralizado, donde un programa informático puede administrar sus propios fondos y celebrar acuerdos con proveedores de almacenamiento en la nube, optimizando costos y garantizando eficiencia operativa.

Para una caracterización detallada de los principales protocolos DeFi y su funcionalidad operativa, puede consultarse el [Anexo B](#), que resume las plataformas más relevantes y sus mecanismos de gobernanza, volumen transaccionado y modelo operativo.

3.3.2 Blockchain

La criptografía financiera, o *Financial Cryptography* (FC) en inglés, se refiere a la aplicación de técnicas criptográficas en sistemas financieros, en los cuales la vulnerabilidad o subversión de los mecanismos de seguridad puede ocasionar pérdidas económicas significativas. Su principal objetivo es garantizar la protección de las transacciones financieras, la seguridad en la transferencia de activos y el desarrollo de nuevas formas de dinero digital.

¹ Estructura de datos utilizada en criptografía y computación distribuida para verificar la integridad y autenticidad de grandes volúmenes de datos. Se organizan en una jerarquía de hashes donde cada nodo padre es el resultado de aplicar una función criptográfica a los hashes de sus nodos hijos.

² Ocurren en sistemas distribuidos cuando algunos nodos actúan de manera incorrecta, ya sea por errores o comportamiento malicioso, dificultando el consenso dentro de la red.

Uno de los ejemplos más representativos de criptografía financiera es el algoritmo Hashcash, propuesto por Adam Back en 1997. Este mecanismo fue diseñado para mitigar el envío masivo de correos electrónicos no deseados (*spam*), estableciendo un sistema en el que los remitentes deben invertir recursos computacionales para validar sus mensajes. A través de este procedimiento, se introduce un costo computacional que desincentiva el uso indiscriminado de recursos para el envío masivo de correos electrónicos, sin afectar de manera significativa a los usuarios legítimos.

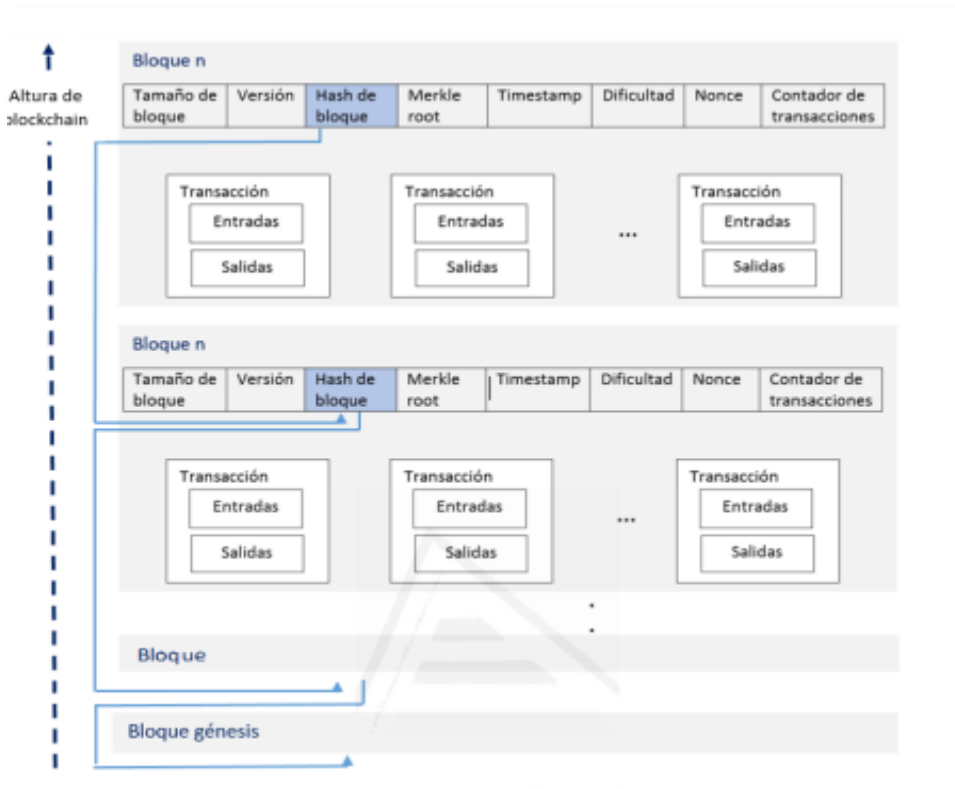
La tecnología blockchain se erige como un sistema de registro distribuido que posibilita la creación de bases de datos compartidas, verificables y seguras sin la intervención de una autoridad central. En términos operativos, esta tecnología conforma una base de datos descentralizada que almacena de manera inmutable todas las transacciones efectuadas dentro de una red de criptomonedas. Cada bloque de la cadena contiene información sobre una transacción específica y se encuentra vinculado al bloque previo, lo que garantiza la integridad del sistema y su resistencia a la manipulación.

Desde un enfoque técnico, la estructura se basa en la organización de la información en bloques, los cuales incluyen metadatos que los enlazan secuencialmente con los bloques anteriores. Este diseño permite el seguimiento seguro de la información mediante el uso de algoritmos criptográficos avanzados. La inmutabilidad de los registros se logra gracias a técnicas de encriptación que impiden la modificación de un bloque sin afectar la totalidad de la cadena previa. Como resultado, blockchain opera como una base de datos distribuida no relacional, asegurando un historial de transacciones verificable y resistente a la falsificación.

El primer protocolo blockchain fue conceptualizado en 2008 por Satoshi Nakamoto, una identidad aún desconocida, quien optimizó los diseños previos al incorporar un mecanismo de prueba de trabajo basado en Hashcash. Esta innovación permitió la validación temporal de los bloques sin la necesidad de una entidad central de confianza. Además, se introdujo un parámetro de dificultad ajustable, el cual regula la tasa de creación de nuevos bloques, garantizando así la estabilidad y operatividad de la red.

Figura 6

Estructura de una Blockchain adaptada de "Economía del Token".



Nota. Adaptado de Voshmgir, S. (2020). Economía del Token: Cómo la Web3 reinventa Internet. Recuperado de <https://github.com/Token-Economy-Book/SpanishTranslation>

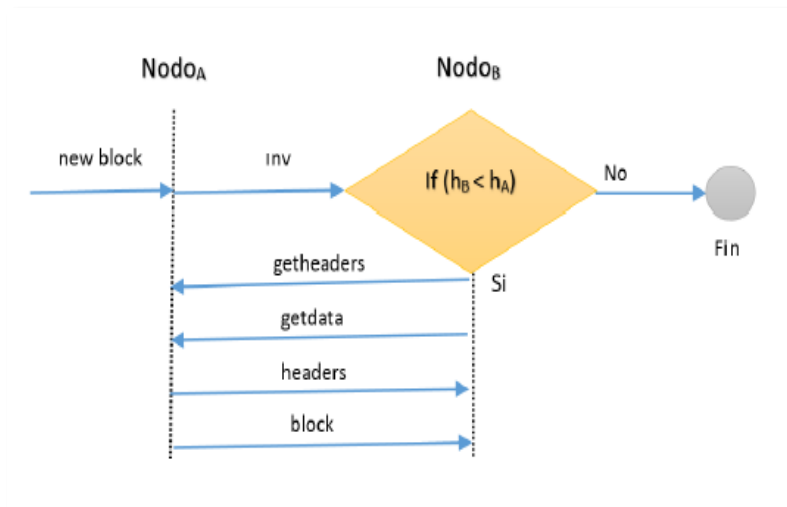
La estructura de una cadena de bloques se organiza como una secuencia de unidades interconectadas, cada una de las cuales contiene un conjunto de transacciones registradas. Cada bloque posee un identificador único, conocido como *hash*, generado mediante un algoritmo criptográfico que garantiza su integridad y autenticidad dentro del sistema.

El bloque inicial de la red, denominado bloque génesis, marca el punto de partida y constituye la base sobre la cual se construyen los bloques subsiguientes. Su función es establecer el primer eslabón de la cadena, facilitando la creación de los siguientes y asegurando la coherencia del registro distribuido a lo largo del tiempo.

Además, la disposición de los bloques se define en función de su altura, un parámetro que indica la cantidad de elementos añadidos después del bloque génesis. Esta estructura secuencial, combinada con la vinculación criptográfica entre cada componente, garantiza la trazabilidad y seguridad del sistema. Cualquier intento de modificación en la información almacenada requeriría la alteración de todos los bloques posteriores, lo que hace prácticamente inviable cualquier manipulación fraudulenta.

Figura 7

Sistema de administración de solicitudes



Nota. Adaptado de Voshmgir, S. (2020). Economía del Token: Cómo la Web3 reinventa Internet. Recuperado de <https://github.com/Token-Economy-Book/SpanishTranslation>

Un sistema de administración de solicitudes facilita la transmisión de información contenida en los bloques mediante un proceso de sincronización entre nodos. En términos computacionales, un nodo representa un punto de intersección dentro de la red, donde confluyen múltiples elementos y se gestionan las interacciones entre ellos.

Este mecanismo de sincronización se basa en la comparación de alturas entre los nodos participantes. Cuando un nodo posee una cadena de menor altura en comparación con otro, procede a descargar los bloques faltantes para actualizar su información y alinearse con el estado más reciente de la red. En contraste, un nodo ligero (o *light node*) no descarga la totalidad de los bloques, sino únicamente las cabeceras, lo que le permite validar transacciones con menor consumo de recursos.

Sin embargo, este esquema de sincronización puede verse amenazado por la presencia de un nodo "atacante", que busca aprovechar posibles retrasos en la actualización de la red para propagar información maliciosa o manipular transacciones. Para mitigar estos riesgos, resulta fundamental que los nodos mantengan una rápida conexión y una verificación constante de la información compartida, garantizando así la integridad y seguridad del sistema.

Mecanismo de consenso descentralizado

En términos generales, la tecnología *Blockchain* se erige como un sistema de registro distribuido que posibilita la creación de una base de datos compartida y verificable por toda la comunidad, sin requerir la intervención de una autoridad central. Su arquitectura descentralizada otorga un papel fundamental a los nodos de la red, los cuales desempeñan cuatro procesos esenciales para su funcionamiento:

- **Verificación independiente de cada transacción:** cada nodo comprueba de manera autónoma la autenticidad de las transacciones antes de su incorporación a la red.
- **Agregación independiente de transacciones en nuevos bloques:** una vez verificadas, las transacciones se agrupan y estructuran en bloques que son añadidos secuencialmente a la cadena.
- **Verificación independiente de nuevos bloques y ensamblajes:** los nodos revisan y validan los bloques recién creados antes de permitir su integración en la red.
- **Selección independiente de la cadena con mayor cómputo acumulativo:** el consenso de la red determina qué versión de la cadena de bloques posee la mayor cantidad de trabajo computacional acumulado, considerándola la más legítima.

Uno de los pilares fundamentales de la tecnología *Blockchain* radica en la implementación de mecanismos de consenso descentralizados, los cuales reemplazan la necesidad de una autoridad central para validar transacciones y garantizar la seguridad de la red. En su lugar, los nodos colaboran a través de un proceso de consenso distribuido, en el que verifican y validan transacciones mediante algoritmos criptográficos.

Estos mecanismos pueden adoptar diferentes enfoques, entre los que se destacan:

- **Prueba de trabajo (*Proof of Work*, PoW):** utilizado en redes como Bitcoin, donde los mineros deben resolver problemas criptográficos complejos para añadir nuevos bloques a la cadena.
- **Prueba de participación (*Proof of Stake*, PoS):** en este esquema, la validación de transacciones y la generación de nuevos bloques dependen de la cantidad de criptomonedas que un usuario posee y está dispuesto a inmovilizar como garantía.

- **Prueba de autoridad (*Proof of Authority*, PoA):** utilizado en redes privadas o empresariales, donde un grupo de validadores preseleccionados confirma las transacciones en función de su reputación o identidad verificable.

Estos mecanismos de consenso garantizan que la información contenida en la *Blockchain* sea inmutable, transparente y resistente a la manipulación, preservando la integridad y confiabilidad de la red sin necesidad de intermediarios. Así, la descentralización se convierte en el elemento distintivo de esta tecnología, asegurando una estructura segura y eficiente para la validación y almacenamiento de transacciones en diversos ámbitos.

Minería

La minería es el mecanismo a través del cual se incorporan nuevas unidades monetarias a la oferta en circulación dentro de un sistema basado en *Blockchain*. Su función principal es garantizar la seguridad y la integridad del sistema, minimizando la posibilidad de ataques de gasto duplicado, es decir, la ejecución de transacciones fraudulentas en las que un mismo activo digital es utilizado más de una vez. Para lograr este objetivo, la minería valida y organiza los bloques que contienen transacciones, asegurando su correcta incorporación a la cadena de bloques.

Este proceso requiere una elevada capacidad computacional y es llevado a cabo por nodos mineros que operan en un entorno descentralizado bajo un esquema de red *Peer-to-Peer* (P2P). Los nodos compiten para ser los primeros en resolver un complejo problema matemático y, al lograrlo, tienen el derecho de agregar un nuevo bloque a la *Blockchain*. Como incentivo por su labor, el minero ganador recibe una recompensa que se compone de dos elementos: nuevas criptomonedas generadas en el proceso y las comisiones de transacción pagadas por los usuarios que han incluido operaciones en dicho bloque.

Dado que la minería demanda un uso intensivo de recursos computacionales, muchos mineros agrupan su capacidad de procesamiento en estructuras denominadas *pools mineros*. Estos conglomerados permiten a los participantes colaborar en la resolución de los cálculos criptográficos y compartir las recompensas obtenidas, optimizando la eficiencia y la viabilidad económica de la actividad minera.

El funcionamiento de la minería está regido por el mecanismo de consenso conocido como Prueba de Trabajo (*Proof of Work*, PoW). Este sistema establece un desafío computacional que debe ser resuelto por los nodos mineros para validar un bloque. En términos técnicos, el

proceso consiste en encontrar un *nonce*, un valor numérico arbitrario que, al ser combinado con los datos del bloque candidato, genere un *hash* cuyo valor sea menor o igual a un umbral predefinido denominado *target*.

Este procedimiento impone una carga computacional significativa, garantizando que la validación de transacciones y la adición de nuevos bloques sean procesos altamente seguros y resistentes a ataques malintencionados. De esta manera, la minería no solo facilita la emisión de nuevas unidades monetarias, sino que también refuerza la estabilidad y confiabilidad de la *Blockchain*, asegurando su inmutabilidad sin la necesidad de una autoridad centralizada.

La prueba de trabajo consiste en encontrar un valor numérico arbitrario (nonce) que permita generar un hash (de un bloque candidato), menor o igual a un número llamado target. Por ejemplo, en un criptosistema bitcoin para que la PoW sea resuelta, debe cumplir la siguiente condición:

$$SHA256 \{B || MT (T_1 \dots T_N) || Nonce\} \leq target$$

Donde:

- B es el último bloque generado
- MT (T₁... T_N) es la raíz del árbol de Merkle obtenida a partir de un conjunto de transacciones que han sido anunciadas (pero no confirmadas en la generación del bloque candidato).
- Nonce, número aleatorio de 32 bits
- Target, es un número de 256 bits que determina la dificultad. Target es calculado a partir de la última dificultad de los últimos 2016 bloques en 2 semanas (20160 minutos).

Por lo tanto: Dificultad = Anterior Dificultad * (t / 20160 minutos), donde t es el tiempo actual de los últimos 2016 bloques.

$$Dificultad_x_t = Dificultad_x_{t-1} * \left(\frac{Timex_t}{20.160 \text{ minutos}} \right)$$

$$Timex_t = \text{Tiempo actual de los últimos 2016 bloques}$$

El mecanismo de Prueba de Trabajo (PoW) se caracteriza por su elevado consumo energético debido a la complejidad computacional que implica la resolución de los algoritmos

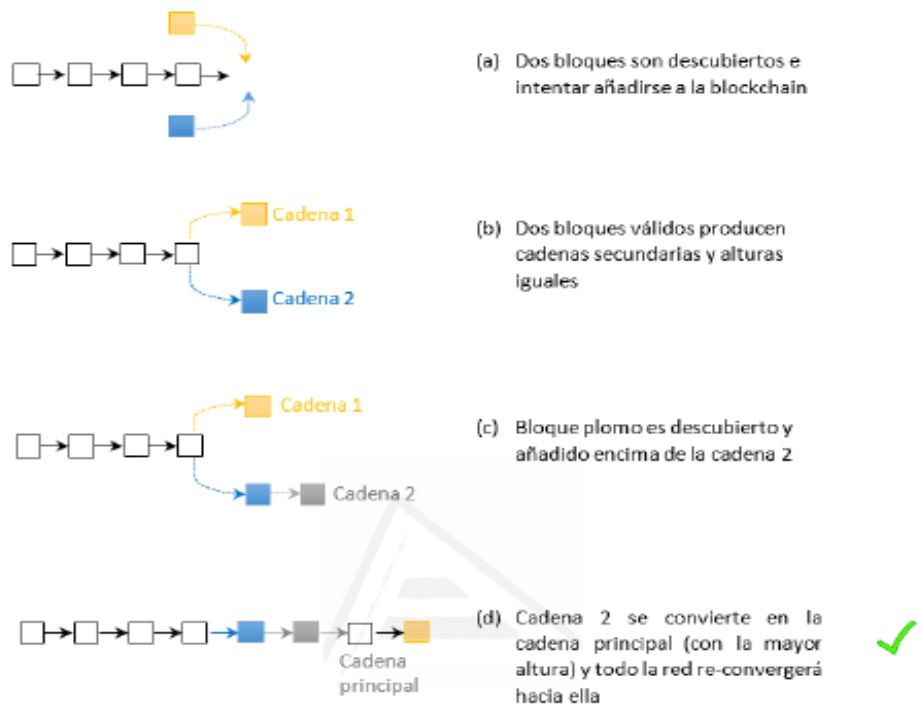
criptográficos para validar y agregar nuevos bloques a la *blockchain*. Con el objetivo de mitigar este inconveniente, surge la criptomoneda Dash, la cual implementa el algoritmo de *hash* X11 en lugar de SHA-256. Este algoritmo, que combina once funciones criptográficas diferentes, permite optimizar el proceso de minería y reducir el consumo de energía en comparación con Bitcoin. Además, Dash está diseñado para ser minado de manera más eficiente mediante unidades de procesamiento gráfico (GPU, *Graphics Processing Unit*), en contraposición a los circuitos integrados de aplicación específica (ASIC, *Application-Specific Integrated Circuit*), que dominan la minería de Bitcoin. De igual manera, criptomonedas como Bitcoin Cash (BCH), Litecoin (LTC) y Monero (XMR) continúan utilizando el mecanismo de PoW para validar sus transacciones y asegurar la integridad de sus respectivas redes.

La arquitectura descentralizada de la *blockchain* permite que los bloques lleguen indistintamente a los distintos nodos de la red. Cada nodo adopta como válida la cadena que contenga el mayor cómputo acumulado, es decir, la cadena más extensa con la mayor cantidad de esfuerzo computacional invertido en su construcción. No obstante, en determinadas circunstancias, pueden surgir situaciones en las que dos mineros, trabajando en diferentes partes de la red, descubran simultáneamente un nuevo bloque y lo propaguen a los nodos cercanos. Esto genera una bifurcación en la *blockchain*, dando lugar a dos cadenas secundarias con la misma altura, fenómeno conocido como *fork* o bifurcación.

Este tipo de bifurcación es considerado válido dentro del protocolo de la *blockchain*, dado que ambas cadenas tienen respaldo en términos de prueba de trabajo, lo que garantiza su legitimidad. Sin embargo, la existencia de dos versiones de la cadena puede generar inconsistencias temporales en la red. Este problema se resuelve en el momento en que un nodo minero descubre un nuevo bloque y lo añade a una de las cadenas en competencia. La cadena que acumule mayor altura y cómputo acumulado se convierte en la cadena principal, mientras que la otra es descartada por la red. Como resultado, todos los nodos de la red convergen nuevamente hacia una única versión de la *blockchain*, asegurando la coherencia del registro distribuido.

Figura 8

Ejemplo gráfico de una bifurcación en una Blockchain



Nota. Adaptado de Binance Academy (s.f.). ¿Qué es blockchain y cómo funciona?

Recuperado de <https://academy.binance.com/es/articles/what-is-blockchain-and-how-does-it-work>

En contraposición a la Prueba de Trabajo (*Proof of Work*, PoW), se encuentra la denominada *Prueba de Participación (Proof of Stake, PoS)*, un mecanismo alternativo que busca garantizar la seguridad de un criptosistema sin depender de la intensidad energética ni del poder computacional involucrado en la minería (Lee, 2018). En lugar de competir por resolver problemas criptográficos complejos, como ocurre en PoW, este sistema delega el derecho de generar nuevos bloques a los nodos que poseen una cantidad significativa de monedas dentro del ecosistema. La lógica subyacente radica en que un nodo con una alta participación en el sistema tiene un fuerte incentivo para preservar la integridad de la *blockchain*, evitando así acciones que podrían perjudicar su propio capital invertido.

Para que un atacante pueda comprometer la seguridad de la red, tendría que adquirir una cantidad sustancial de tokens en circulación, lo que, en términos económicos, resultaría inviable. Cualquier intento de ataque generaría una devaluación de la criptomoneda y, en consecuencia, una pérdida financiera significativa para el propio atacante. Este modelo de validación no solo optimiza la eficiencia energética en comparación con PoW, sino que también refuerza la estabilidad del ecosistema al disuadir posibles manipulaciones malintencionadas.

Desde una perspectiva técnica, una *blockchain* se define como una estructura compuesta por una secuencia de bloques enlazados criptográficamente, los cuales contienen información de transacciones validadas. Cada bloque es identificado mediante un *hash* único, generado a partir de algoritmos criptográficos avanzados. En esta estructura, cada bloque posterior, denominado “hijo”, se vincula de manera secuencial a un bloque anterior, conocido como “padre”, formando así una cadena de bloques inmutable y resistente a la manipulación. Este mecanismo garantiza que cualquier alteración en un bloque modificaría automáticamente todos los bloques subsiguientes, lo que haría evidente cualquier intento de fraude.

Las transacciones dentro de una *blockchain* se sustentan en el uso de claves criptográficas asimétricas, las cuales permiten autenticar y firmar digitalmente cada operación. Además, los contratos inteligentes pueden ser integrados a la cadena de bloques para gestionar diversos aspectos de una transacción, optimizando costos operativos y legales, incrementando la transparencia y preservando el anonimato de las partes involucradas. En paralelo, los nodos mineros o validadores compiten por la creación de nuevos bloques, y las billeteras digitales pueden implementarse tanto en nodos completos como en nodos ligeros, facilitando la accesibilidad a la red.

En términos generales, la *blockchain* constituye una tecnología de registro distribuido que posibilita la creación de una base de datos descentralizada, verificable por toda la comunidad y libre de la intervención de una autoridad central. Cada eslabón de esta estructura mantiene, a través de distintos niveles, la información resguardada bajo un esquema de criptografía avanzada, imposibilitando cualquier tipo de alteración o modificación no autorizada.

3.3.3 Criptomonedas

Las criptomonedas representan un medio digital de intercambio que utiliza criptografía fuerte para asegurar las transacciones, controlar la creación de unidades adicionales y verificar la transferencia de activos mediante tecnologías de registro distribuido. Son consideradas una forma de divisa alternativa, similar a las monedas digitales.

El control de cada criptomoneda se lleva a cabo a través de una base de datos descentralizada, estructurada en cadenas de bloques (Blockchain), que actúan como un registro público de transacciones financieras. Un sistema de criptomonedas está compuesto por diversas tecnologías y conceptos, entre los cuales se destacan:

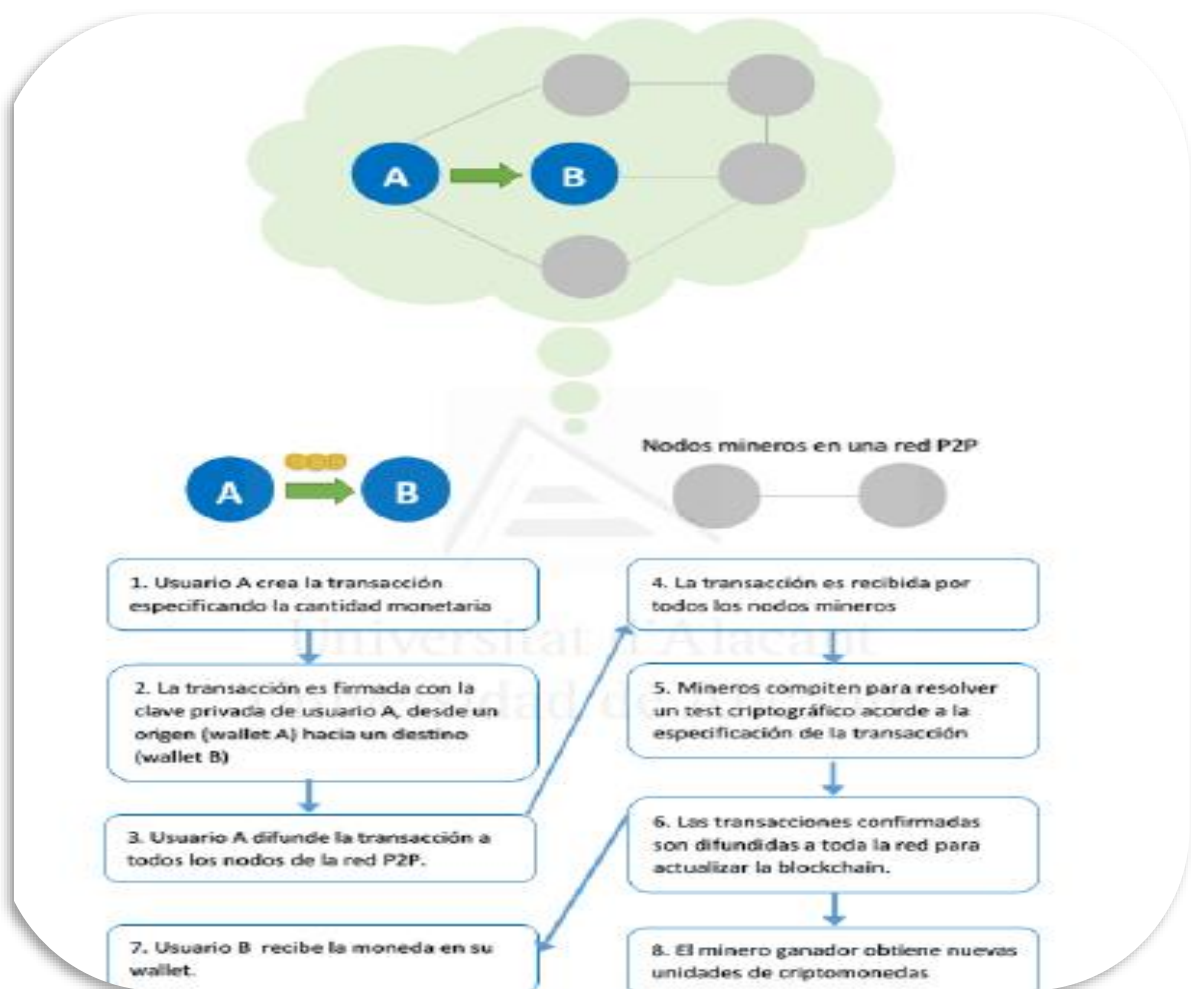
- i) Red P2P (Peer-to-Peer): Esta red se conforma por nodos geográficamente distribuidos e interconectados, los cuales comparten recursos y servicios sin depender de una entidad central para supervisar el comportamiento de cada nodo. La detección y prevención de comportamientos no deseados es determinada por la colaboración entre los nodos. Cada nodo es autónomo y decide su nivel de contribución a la red. Adicionalmente, un subconjunto de nodos puede ser responsable de la validación de transacciones antes de su propagación en la red. Uno de los principales retos es asegurar que toda la información de los nodos sea replicada y coincida entre sí.
- ii) Blockchain: Esta tecnología se define como un libro de contabilidad distribuido e inmutable capaz de registrar el historial completo de transacciones. Blockchain actúa como una base de datos compartida que puede ser verificada por toda la comunidad, eliminando la necesidad de una autoridad central. Este enfoque establece confianza entre entidades desconocidas y fortalece su papel como tecnología subyacente que garantiza el registro y la integridad de las transacciones.
- iii) Método transaccional: Este método se fundamenta en el uso de claves basadas en criptografía asimétrica, que incluye claves públicas y privadas. La clave pública es ampliamente conocida y sirve como dirección para el envío y recepción de monedas, mientras que la clave privada es de uso restringido y se utiliza para demostrar la propiedad y la transferencia de fondos. La clave privada se almacena en una billetera digital, la cual puede ser resguardada en cualquier dispositivo electrónico que permita guardar y transportar la información.
- iv) Mecanismos de emisión de la moneda: La emisión de criptomonedas resulta de la validación de transacciones llevada a cabo por nodos validadores, que en algunos casos son denominados mineros. Este proceso implica que nodos o granjas de nodos, conectados a la red, compiten para resolver un algoritmo computacional. Como resultado de esta competencia, se crean fracciones de la moneda y se recompensa al nodo minero por su labor. En este sentido, una moneda se considera un token que almacena el valor o recompensa derivada de una actividad. Al operar en un sistema P2P, las transacciones son replicadas y actualizadas en cada uno de los nodos de la red.

Funcionamiento de las criptomonedas

- El Usuario A gestiona la creación de una transacción monetaria específica.
- Dicha transacción es firmada por A (indicando origen) hacia un fin (llegada B).
- A envía la transacción a todos los nodos de la red Peer to Peer. Los mineros reciben la transacción, y, en una competencia entre sí, resuelven la prueba criptográfica en base a las especificaciones de la transacción. Quien sea más veloz, es quien gana la unidad en criptomoneda.
- La confirmación de las transacciones se responde a toda la red para actualizar la cadena de bloques con la nueva información.
- El Usuario B recibe la transacción monetaria del Usuario A con éxito.
- El minero ganador de la prueba criptográfica obtiene nuevas unidades de criptomonedas.

Figura 9

Funcionamiento de una criptomoneda



Nota. Adaptado de Binance Academy (s.f.). ¿Qué es blockchain y cómo funciona?.

Recuperado de <https://academy.binance.com/es/articles/what-is-blockchain-and-how-does-it-work>

Las transacciones entre billeteras se definen como una estructura de datos que codifica la transferencia de valor entre los participantes en un sistema de pago. En términos funcionales, esto implica un intercambio de activos digitales desde un punto de origen hasta un destino final. Esta estructura está compuesta por entradas y salidas, elementos que registran el flujo transaccional entre los participantes de la red. La integridad de dicho flujo se garantiza mediante la implementación de scripts criptográficos, tanto en las entradas como en las salidas, asegurando la validez y autenticidad de cada operación.

En su concepción original, las criptomonedas fueron diseñadas para operar bajo un modelo completamente descentralizado, eliminando la necesidad de intermediarios en los procesos de confirmación y generación de transacciones, además de garantizar cierto nivel de anonimato en los pagos. Sin embargo, a lo largo del tiempo han surgido diversos servicios centralizados que han monopolizado el ecosistema de los criptoactivos. Aunque esta tendencia contradice los principios fundamentales de descentralización, se ha observado un creciente grado de concentración en servicios clave, tales como plataformas de intercambio, soluciones tecnológicas, acceso a información y generación de confianza en los procesos. En este contexto, los dos principales actores centralizados dentro del ecosistema son los pools de minería y las billeteras en línea.

Los pools de minería representan agrupaciones de mineros que colaboran para aumentar sus probabilidades de éxito en la resolución de las complejas pruebas computacionales requeridas para validar transacciones y generar nuevas criptomonedas. Este mecanismo distribuye de manera proporcional tanto los costos energéticos como las recompensas obtenidas, permitiendo a los participantes maximizar su eficiencia. Dado el elevado nivel de dificultad de los algoritmos de prueba de trabajo, resulta poco viable que un nodo individual pueda resolver estos cálculos de manera independiente y obtener la recompensa correspondiente. En consecuencia, los pools han adquirido un papel predominante dentro de la infraestructura de las criptomonedas, consolidando una tendencia hacia la concentración del poder de procesamiento.

Las billeteras digitales o wallets constituyen los repositorios de las claves privadas, las cuales son esenciales para autorizar pagos y transferencias de dinero virtual. Aunque la tecnología

subyacente provee una infraestructura básica para la gestión de estas claves, su implementación nativa suele resultar poco intuitiva para usuarios inexpertos. Esta complejidad ha impulsado la proliferación de servicios en la nube, que ofrecen soluciones más accesibles y fáciles de usar.

Las wallets en línea presentan ventajas como el ahorro de espacio en disco y la posibilidad de acceder a los fondos desde cualquier dispositivo con conexión a Internet. No obstante, esta conveniencia implica un mayor grado de dependencia de terceros, lo que introduce riesgos de seguridad y centralización en la administración de activos digitales. Empresas como Binance, Buenbit, Lemon y Satoshi Tango han logrado consolidarse como actores clave dentro del mercado argentino, ofreciendo plataformas de almacenamiento y gestión de criptoactivos con una cuota de mercado significativa.

Bitcoin (BTC)

La primera criptomoneda que empezó a operar fue Bitcoin, en el año 2009, una moneda digital descentralizada y utilizada como sistema de pago, sin banco central o administrador único. Originalmente, fue concebida por un grupo de criptógrafos y matemáticos bajo el pseudónimo Satoshi Nakamoto en Japón en el año 2008. Precisamente, el 31 de octubre de 2008 el equipo de Satoshi Nakamoto envía un mensaje firmado por ellos bajo el título Bitcoin P2P e-cash paper, directamente a una lista de correo sobre criptografía que pertenece a la sociedad limitada Metzger, Dowdeswell & Co. LLC. En este mensaje se describe un nuevo sistema de efectivo electrónico llamado *Bitcoin que es totalmente P2P y que no está basado en terceros de confianza*. A su vez, se hace referencia a un documento técnico titulado Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System³. El 3 de enero de 2009 entra en funcionamiento la primera red P2P basada en dicho protocolo, lo que significó la puesta en marcha del primer software de código abierto para correr nodos de la moneda, y también la creación de los primeros bitcoins y el inicio de la minería de esta. El primer bloque de bitcoins, conocido como el bloque de génesis, es minado por el propio Satoshi Nakamoto. A los pocos días, se lanza el primer cliente de software de código abierto⁴ para ejecutar la interacción de los nodos de la criptomoneda a través de la plataforma SourceForge. Este sitio web tiene como objetivo, la colaboración de proyectos de todo tipo de software, actuando

³ A Peer-to-Peer Electronic Cash System: Nombre original de la criptomoneda

⁴ Código Abierto: es un modelo de desarrollo de software basado en la colaboración abierta

como un repositorio de código fuente, permitiendo la participación de diferentes desarrolladores que adicionan mejoras al algoritmo.

Bitcoin es, en esencia, una red descentralizada de pago *peer-to-peer* (P2P) compuesta por nodos, los cuales pueden desempeñar diversas funciones, como almacenamiento de *wallets*, minería, mantenimiento de copias completas de la cadena de bloques, enrutamiento, entre otras. Para ser considerada una criptomoneda, deben cumplirse ciertas condiciones estructurales en la red.

En este sentido, todos los nodos cumplen una función de enrutamiento, facilitando la comunicación dentro del sistema. Un nodo que incorpora simultáneamente las funciones de *wallet*, minería, almacenamiento completo de la cadena de bloques y enrutamiento se considera un nodo completo. Aquellos que mantienen una copia íntegra de la cadena pueden verificar de manera autónoma y autoritativa cualquier transacción sin depender de fuentes externas.

Los nodos que emplean un método de verificación de pago simplificado se denominan nodos ligeros. A diferencia de los nodos completos, estos solo descargan las cabeceras de los bloques sin incluir el detalle de las transacciones. Su diseño está optimizado para dispositivos con menor capacidad de almacenamiento y procesamiento, como teléfonos inteligentes y tabletas.

Dentro del ecosistema, los nodos que participan en la creación de nuevos bloques de transacciones son conocidos como mineros. Estos pueden operar de manera independiente o agruparse en estructuras colaborativas denominadas *pools* de minería, con el objetivo de incrementar sus probabilidades de éxito en la resolución de las pruebas computacionales requeridas para validar nuevas transacciones.

Las *wallets* de usuario pueden implementarse tanto en nodos completos como en nodos ligeros, dependiendo de las necesidades y capacidades del usuario. Mientras que una *wallet* alojada en un nodo completo ofrece un mayor grado de autonomía y seguridad, las versiones ligeras permiten una experiencia más accesible y adaptable a dispositivos móviles.

Tabla 2

Línea del tiempo de desarrollo de Bitcoin

Año	Descripción
2009	Nace Bitcoin. Se lanza la red Bitcoin con la creación del 'Bloque Génesis'. Se registran las primeras transacciones globales de Bitcoin en el mercado financiero. El 11 de enero de 2009 comienza la producción de Bitcoin (BTC) mediante minería, alcanzando una circulación de aproximadamente 1.000.000 de BTC.
2010	El 10 de noviembre, BTC alcanza un valor de USD 0.0025 por unidad. Durante este año se identifican problemas de seguridad, generando cambios en la bifurcación de la red. El 12 de diciembre se registra la última comunicación pública de Satoshi Nakamoto.
2011	Se observa una volatilidad en el valor del BTC, alcanzando un récord de 1 dólar por unidad y posteriormente cayendo a valores mínimos. La producción anual de Bitcoin se duplica y la oferta en circulación llega a 5.250.000 BTC.
2012	Se crea la Fundación Bitcoin para promover, proteger y estandarizar su desarrollo. BitPay reporta que más de 1.000 comercios aceptan pagos en BTC.
2013	Coinbase informa que las ventas mensuales de BTC superaban el millón de dólares. Se produce el primer conflicto legal relacionado con Bitcoin en EE.UU., donde la Administración de Control de Drogas incauta BTC.
2014	Los casinos de Las Vegas comienzan a aceptar BTC como forma de pago. Microsoft incorpora Bitcoin para la compra de juegos y aplicaciones.
2015	Coinbase obtiene una inversión de USD 75 millones, el mayor monto para una empresa de criptomonedas hasta la fecha. Barclays se convierte en el primer banco británico en aceptar BTC para donaciones benéficas.
2016	Se reporta que el número de cajeros automáticos de BTC se ha duplicado en 18 meses, alcanzando los 771 a nivel mundial. Uber en Argentina comienza a aceptar pagos en BTC.
2017	Japón reconoce a Bitcoin como medio de pago legal. BTC supera por primera vez el precio de una onza de oro, alcanzando los USD 1.402. El 17 de diciembre llega a su máximo histórico de USD 19.708 por unidad.
2018	Se producen bifurcaciones en la red Bitcoin, dando lugar a Bitcoin Cash, Bitcoin Core y Bitcoin Unlimited. Gobiernos como China, India y Australia exploran la posibilidad de integrar criptomonedas en sus infraestructuras.

*Nota. Adaptado de *Huberman et al. (2019). From Mining to Markets: The Evolution of Bitcoin Transaction Fees.*

El sistema se configura como una innovación en el ámbito financiero, permitiendo la interacción directa entre usuarios que requieren realizar transacciones con altos niveles de seguridad informática, sin la necesidad de intermediarios que puedan ralentizar las operaciones, generar costos innecesarios o afectar la eficiencia del proceso. Asimismo, ofrece la posibilidad de participar en la minería de criptomonedas, proporcionando una fuente de ingresos en activos digitales de valor internacional.

Bitcoin, en su esencia, no se encuentra listado directamente en ninguna bolsa de valores tradicional como una acción o un bono. No obstante, existen diversos productos financieros vinculados a esta criptomoneda que se negocian en mercados bursátiles de todo el mundo, entre los que destacan:

- i) Grayscale Bitcoin Trust (GBTC): Uno de los fondos de inversión en Bitcoin más importantes, cotizado en el mercado OTC (*Over-The-Counter*).
- ii) ProShares Bitcoin Strategy ETF (BITO): Un fondo cotizado en bolsa (ETF) basado en futuros de Bitcoin, aprobado por la Comisión de Bolsa y Valores de EE.UU. (*SEC*) y listado en la Bolsa de Nueva York (*NYSE*) desde octubre de 2021.
- iii) Bitcoin Tracker One y Ether Tracker One: Notas de intercambio (*ETNs*) negociadas en Nasdaq Nordic, Suecia.
- iv) Cboe Global Markets y CME Group: Ofrecen contratos de futuros de Bitcoin, comercializados en sus respectivas bolsas.
- v) Purpose Bitcoin ETF (BTCC): Primer fondo cotizado en bolsa basado en Bitcoin aprobado en Canadá y disponible en la Bolsa de Toronto desde 2021.
- vi) ETFs de Bitcoin en Europa: Diversos mercados bursátiles europeos han incorporado ETFs de Bitcoin, brindando opciones de inversión en esta criptomoneda a nivel regional.

Este panorama refleja el creciente interés y la adopción institucional de Bitcoin como activo financiero, consolidando su presencia en mercados regulados y facilitando su acceso a inversores tradicionales.

Ethereum (ETH)

Ethereum, conocido por su símbolo ETH, es una plataforma de código abierto diseñada para la ejecución de contratos inteligentes. Su característica programable permite a los desarrolladores crear aplicaciones descentralizadas (*dApps*), aprovechando la capacidad transaccional de las criptomonedas, la automatización de los contratos inteligentes y la seguridad de la tecnología de cadena de bloques.

Una de sus principales ventajas radica en la fiabilidad y predictibilidad de su funcionamiento. Una vez que los contratos inteligentes son implementados en la red de Ethereum, se ejecutan de manera automática según lo establecido en su programación, sin posibilidad de alteraciones o manipulaciones externas. Este principio garantiza la transparencia y seguridad en el ecosistema de aplicaciones descentralizadas, consolidando a

Ethereum como una de las infraestructuras más relevantes en el ámbito de las finanzas y la innovación tecnológica.

Ethereum tiene la capacidad de gestionar activos digitales para desarrollar nuevos modelos de aplicaciones financieras. Su diseño permite la descentralización, lo que significa que ninguna entidad o individuo ejerce control sobre la red. Su objetivo principal es transformar la web mediante la introducción de cuatro componentes fundamentales en la hoja de ruta de Web 3.0⁵: publicación de contenido estático, mensajes dinámicos, transacciones confiables y una interfaz de usuario integrada y funcional. Estos elementos buscan reemplazar algunos aspectos tradicionales de la experiencia en línea, pero de una manera completamente descentralizada y anónima.

El funcionamiento de esta red se basa en la ejecución de contratos inteligentes, los cuales son escritos en lenguajes de programación de alto nivel con capacidades de Turing completo, como Serpent o Solidity. Estos siguen la metodología de diseño por contrato para garantizar la ejecución segura de acuerdos digitales.

Ethereum utiliza como divisa interna el ether (ETH), un criptoactivo descentralizado que no solo facilita transacciones monetarias, sino que también permite la ejecución de contratos en su ecosistema (*Diedrich, 2016*). A diferencia de Bitcoin, cuya principal función es servir como medio de intercambio de valor, esta plataforma está diseñada para alimentar contratos de código abierto que posibilitan una amplia gama de servicios, tales como sistemas de votación, intercambios financieros, plataformas de financiamiento colectivo, gestión de propiedad intelectual y organizaciones autónomas descentralizadas.

El uso de esta criptomoneda en el desarrollo de aplicaciones financieras no solo ofrece transparencia y seguridad, sino que también garantiza la protección criptográfica de activos y acuerdos contractuales. Su versatilidad lo convierte en la base para cualquier software descentralizado o aplicación basada en tecnología blockchain, permitiendo a los desarrolladores crear soluciones innovadoras dentro de un entorno seguro y programable.

XRP Ledger (XRP)

La XRP Ledger (anteriormente conocida como Ripple) es un proyecto de software libre y un protocolo de pagos diseñado para desarrollar un sistema de crédito basado en el modelo

⁵ A diferencia de la Web 2.0, dominada por plataformas centralizadas, este modelo elimina intermediarios y permite interacciones seguras, privadas y autónomas mediante redes distribuidas

peer-to-peer. Cada nodo dentro de la red actúa como un sistema de cambio local, de modo que el conjunto de la infraestructura conforma un banco mutualista descentralizado.

Algunos analistas sostienen que, en su máxima implementación, esta red podría evolucionar hacia un sistema de servicio financiero descentralizado, fundamentado en el honor y la confianza entre los participantes a nivel global. En este sentido, su capital financiero se sustentaría en la solidez de las relaciones sociales dentro de la red.

Una versión más reducida de este sistema podría operar como una extensión del modelo bancario tradicional, ofreciendo rutas de pago alternativas que no dependan de bancos centrales, facilitando así transacciones más eficientes y con menor intermediación en el ecosistema financiero.

Los inicios de esta criptomoneda se remontan a 2012 en los Estados Unidos, cuando la compañía Ripple Labs lanzó su sistema bajo el nombre original de Ripples. En 2018, los desarrolladores que continuaron con el proyecto decidieron modificar su identidad, adoptando el nombre de XRP para diferenciarse de otras soluciones en el ecosistema de activos digitales.

Los sistemas monetarios modernos se estructuran en función de las obligaciones entre sus participantes. Las monedas y billetes representan obligaciones emitidas por los gobiernos, los préstamos constituyen compromisos financieros asumidos por los prestatarios, y los depósitos en cuentas bancarias son obligaciones de las instituciones financieras, respaldadas por normativas legales y políticas gubernamentales. El valor de estas obligaciones radica en la confianza de los participantes en que podrán intercambiarlas por bienes y servicios. En este sentido, el sistema bancario puede entenderse como una red basada en la confianza donde la principal forma de realizar pagos dentro de este esquema es mediante la transferencia electrónica de la propiedad de las obligaciones bancarias entre el pagador y el receptor, a través de la infraestructura financiera existente.

El sistema bancario tradicional opera bajo una estructura jerárquica, donde los bancos actúan como intermediarios entre los clientes y, a su vez, los bancos centrales cumplen la función de reguladores de los intermediarios financieros. Si bien esta estructura facilita la ejecución de pagos entre los participantes, también introduce puntos de fallo que pueden considerarse como focos únicos de control y vulnerabilidad. En contraste, el sistema de XRP permite a las instituciones financieras ejecutar transacciones sin depender de los bancos centrales, reduciendo así los costos operativos y mejorando la eficiencia en los pagos interbancarios.

El proyecto XRP tiene como principio fundamental la posibilidad de enrutar pagos a través de redes basadas en confianza abiertas, de manera análoga a cómo Internet transmite paquetes de datos a través de redes descentralizadas y arbitrarias. Una de sus principales ventajas radica en la reducción de la dependencia de instituciones que ejercen autoridad sobre la política monetaria a nivel nacional. En este modelo, las decisiones se distribuyen entre los participantes del sistema, generando un mecanismo más democrático y flexible. Esta alternativa, en teoría, permitiría una respuesta más equitativa a las necesidades regionales y comunitarias, sin requerir una jerarquía institucional altamente regulada para supervisar a los actores centrales, como ocurre con la infraestructura de Internet. Además, la red de XRP está diseñada para operar incluso en caso de la pérdida de múltiples nodos, lo que refuerza su resiliencia.

El propósito del protocolo de XRP no es eliminar las estructuras de pago jerárquicas, sino ofrecer un sistema alternativo que permita la coexistencia de modelos descentralizados y centralizados. Aunque existen otros mecanismos distintos a la banca tradicional, como los procesadores de pago y los sistemas de cambio locales, XRP se diferencia de estos y de otras criptomonedas como Bitcoin y Ethereum en su enfoque de equidad entre los participantes. Mientras que los procesadores de pago y los sistemas de cambio dependen de una autoridad central para definir políticas y procesar transacciones entre nodos finales, la red de XRP Ledger distribuye la misma capacidad de validación entre todos sus nodos. En este sentido, cada nodo en XRP actúa como un sistema de cambio local o un procesador de pagos independiente, donde la utilidad del protocolo radica en su capacidad para conectar tanto los sistemas de pago tradicionales como las plataformas alternativas en una sola red interconectada.

Criptomonedas Estables (Stable Coins)

Una criptomoneda estable, conocida en inglés como *stablecoin*, se define como un tipo de activo digital diseñado para minimizar la volatilidad de su precio en relación con un activo de referencia estable o una cesta de activos. Estas monedas pueden estar vinculadas a otras criptomonedas, a dinero fiduciario o a materias primas.

Las *stablecoins* cuyo valor está respaldado por divisas, mercancías o dinero fiduciario se consideran garantizadas, ya que cuentan con reservas que sustentan su equivalencia. En contraste, aquellas que dependen de algoritmos para ajustar su oferta y demanda se conocen

como monedas estables de tipo señoreaje, las cuales no cuentan con respaldo directo en activos tradicionales, sino que mantienen su estabilidad a través de mecanismos programáticos de emisión y contracción de la oferta monetaria.

Las criptomonedas respaldadas por activos presentan la ventaja de estar estabilizadas mediante recursos que operan fuera del ecosistema cripto, lo que implica que el activo subyacente no mantiene una correlación directa con la moneda digital. Esta característica contribuye a la reducción del riesgo financiero, ya que minimiza la volatilidad propia de los criptoactivos.

Bitcoin, al igual que la mayoría de las criptomonedas, exhibe una alta correlación con otros activos digitales, lo que significa que sus variaciones de precio tienden a moverse en la misma dirección. Debido a esta interdependencia, no puede considerarse un sustituto efectivo para la preservación de valor en mercados de mayor estabilidad. En contraste, las *stablecoins* presentan una menor probabilidad de sufrir caídas por debajo del valor del activo físico que las respalda, gracias a la existencia de mecanismos de arbitraje. Sin embargo, esta estabilidad depende de una administración transparente y de la implementación efectiva de un sistema de canje de los activos subyacentes.

Las monedas estables respaldadas están sujetas a los mismos niveles de volatilidad y riesgos inherentes al activo en el que se basan. En caso de que el respaldo se administre de manera descentralizada, la seguridad frente a ataques o intervenciones externas es relativamente mayor. No obstante, si los activos subyacentes se almacenan en una bóveda centralizada, existe el riesgo de robo, fallos operativos o pérdida de confianza en la entidad emisora.

Los mecanismos de respaldo pueden estructurarse a partir de distintos activos, entre los cuales se encuentran:

- i) Las materias primas (*commodities*):
 - El valor de la moneda estable está vinculado a una o más materias primas y es canjeable por ellas en mayor o menor medida según la demanda.
 - Su respaldo se basa en una promesa de pago, que puede provenir de individuos no regulados, empresas de orientación *agorista* o incluso instituciones financieras sujetas a regulación.

- La cantidad de materias primas utilizada como respaldo debe reflejar el capital circulante de la moneda estable, asegurando su convertibilidad y estabilidad en el tiempo.
- ii) El dinero Fiat:
- Su valor está vinculado a una o más divisas en una proporción fija.
 - El Tether se genera fuera de la cadena, a través de bancos u otro tipo de instituciones financieras reguladas que sirven de depositarias de la divisa USD para respaldar a la moneda estable,
 - La cantidad de divisa utilizada para respaldar a la moneda estable tiene que reflejar el capital circulante de dicha moneda estable.
- iii) El propio respaldo cripto:
- El valor de la moneda estable está garantizado por otra criptomoneda o una cartera de criptomonedas.
 - La vinculación se ejecuta dentro de la cadena a través de contratos inteligentes.
 - El suministro de moneda estable está regulado dentro de la cadena mediante contratos inteligentes.
 - La estabilidad de precios se logra mediante la introducción de instrumentos e incentivos complementarios, no solo con la garantía.

Tether (USDT)

Tether, mejor conocida por su acrónimo USDT, es una criptomoneda emitida por la empresa Tether Limited. En sus inicios, la compañía aseguró que cada token mantenía una paridad de 1:1 con el dólar estadounidense, respaldado íntegramente por reservas en la misma moneda. Sin embargo, el 14 de marzo de 2019, la política de respaldo fue modificada para incluir préstamos a empresas afiliadas. Aunque se considera una moneda estable debido a su diseño inicial para mantener un valor constante de un dólar, la empresa reconoce que los titulares de estos activos no cuentan con derechos contractuales ni garantías legales que aseguren el canje por dólares estadounidenses.

El concepto detrás de esta criptomoneda fue desarrollado a partir de un documento publicado en 2012 por Willet⁶, quien posteriormente participó en su implementación dentro de la red de Mastercoin. Este proyecto, respaldado por la Fundación Mastercoin, más tarde rebautizada como Fundación Omni, introdujo una nueva "segunda capa" para operar sobre la infraestructura de Bitcoin. El protocolo de Mastercoin sirvió como base tecnológica para el desarrollo de Tether. Por ese entonces, la compañía emisora sostuvo que su intención es mantener suficientes reservas en dólares para cubrir los retiros solicitados por los usuarios, incluso mediante la implementación de auditorías externas, con el fin de reforzar la confianza en la estabilidad y solidez del activo digital.

DAI

El proyecto DAI es una criptomoneda estable diseñada para mantener su valor lo más próximo posible al dólar estadounidense mediante un sistema automatizado de contratos inteligentes en la cadena de bloques de Ethereum. Su administración está a cargo de MakerDAO, una organización autónoma descentralizada conformada por los titulares de su token de gobernanza. La estabilidad de este activo digital se garantiza a través de mecanismos de votación que permiten a los participantes modificar parámetros clave en los contratos inteligentes subyacentes.

La criptomoneda se emite mediante un sistema de préstamo sobrecolateralizado, donde los usuarios pueden obtenerlo depositando criptomonedas aceptadas como garantía en los contratos inteligentes de MakerDAO. Estos activos funcionan como respaldo del monto emitido, permitiendo a los prestatarios acceder a liquidez sin necesidad de vender sus tenencias. En caso de que el valor de la garantía caiga por debajo del umbral mínimo requerido, el contrato inteligente ejecuta automáticamente la liquidación del préstamo para preservar la estabilidad del sistema. Por el contrario, si el valor de los activos depositados aumenta, se habilita la posibilidad de solicitar una mayor cantidad de DAI.

Según Anderson (2019), si el ratio de garantía exigido es del 150 %, un depósito equivalente a 150 dólares en ETH permitiría la emisión de hasta USD 100 en DAI, manteniendo así una relación de seguridad que respalda la estabilidad del activo. Una vez que el prestatario

⁶ En enero de 2012, J.R. Willett publicó un documento técnico titulado "The Second Bitcoin Whitepaper", en el cual proponía la posibilidad de construir nuevas criptomonedas sobre el protocolo de Bitcoin existente, sin necesidad de modificar su estructura fundamental.

reembolsa el préstamo junto con los intereses acumulados, los tokens devueltos son destruidos de manera automática y la garantía queda liberada para su retiro.

El valor de DAI en términos de dólares está respaldado por el valor de los activos subyacentes administrados por los contratos inteligentes de MakerDAO. A través del control de los tipos de garantía aceptados, los ratios de colateralización y las tasas de interés aplicadas a la emisión y almacenamiento de la criptomoneda, MakerDAO regula la oferta en circulación y, por ende, su estabilidad en el mercado.

La implementación de este sistema se remonta al 18 de diciembre de 2017, cuando DAI y sus contratos inteligentes asociados fueron desplegados oficialmente en la red principal de Ethereum. Desde entonces, ha logrado mantener su paridad con el dólar estadounidense sin alteraciones significativas, consolidándose como una de las criptomonedas estables más utilizadas dentro del ecosistema financiero descentralizado.

Evolución y Auge del mercado cripto

El mercado de criptomonedas continúa en expansión, incorporando nuevos activos digitales que incluyen *altcoins*, *stablecoins* y otras variantes dentro del ecosistema financiero descentralizado. En este contexto, ha surgido un segmento innovador ya abordado en este trabajo, el NFT (*Non-Fungible Token*), o Token No Fungible, que se distingue de otros activos digitales, como Bitcoin, por su carácter único y no intercambiable. Estos tokens, al estar encriptados y respaldados por la tecnología *blockchain*, han transformado el concepto de propiedad digital y han encontrado aplicaciones en el arte, los videojuegos y la certificación de activos digitales.

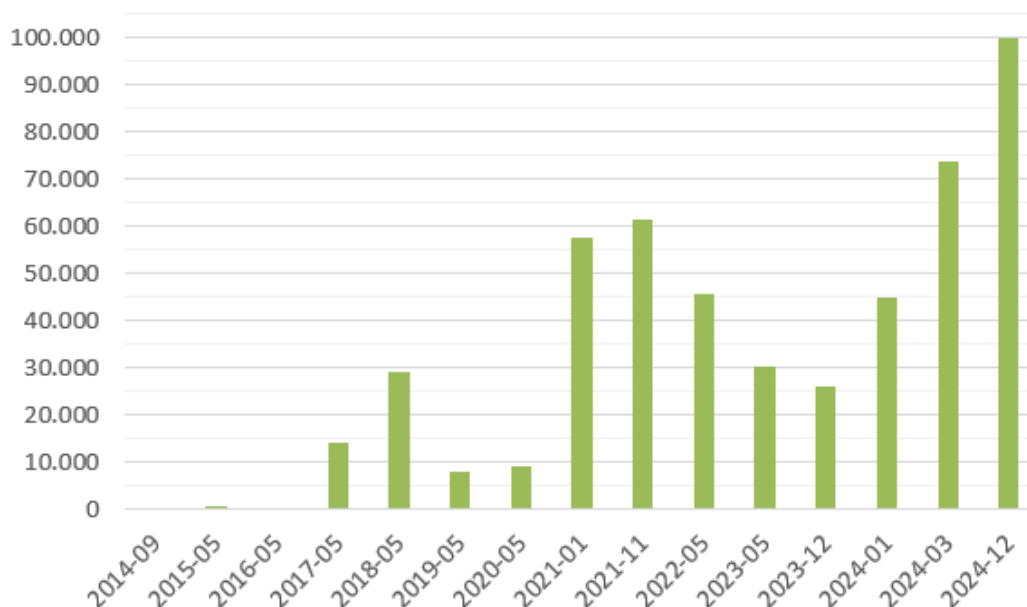
El crecimiento exponencial de estos activos ha impulsado la aparición de especialistas dedicados al análisis técnico y a la formación masiva en redes sociales, generando una mayor difusión del conocimiento financiero en la sociedad. Este fenómeno ha permitido que un número creciente de personas adquiera experiencia en el manejo de activos digitales, contribuyendo al desarrollo profesional dentro del sector de las finanzas.

El avance de estos activos ha reforzado significativamente el ecosistema de Finanzas descentralizadas, consolidando su principio fundamental de eliminar la intervención de terceros en las transacciones y promoviendo un sistema financiero más autónomo y accesible.

Uno de los momentos de mayor auge del sector ocurrió durante la pandemia de Covid-19 en 2020. La paralización de las economías a nivel global afectó gravemente el funcionamiento de los bancos, los cuales aún enfrentaban secuelas de crisis económicas y estructurales previas. Ante este contexto, las criptomonedas emergieron como una alternativa viable para el intercambio de valor, lo que generó un incremento sin precedentes en su cotización. Este período evidenció la creciente adopción de los activos digitales como una opción frente a los sistemas financieros tradicionales, consolidando su relevancia en el ámbito económico mundial.

Figura 10

Evolución de la cotización de Bitcoin 2014-2024



Nota. Elaboración propia con datos de Coinbase (2024).

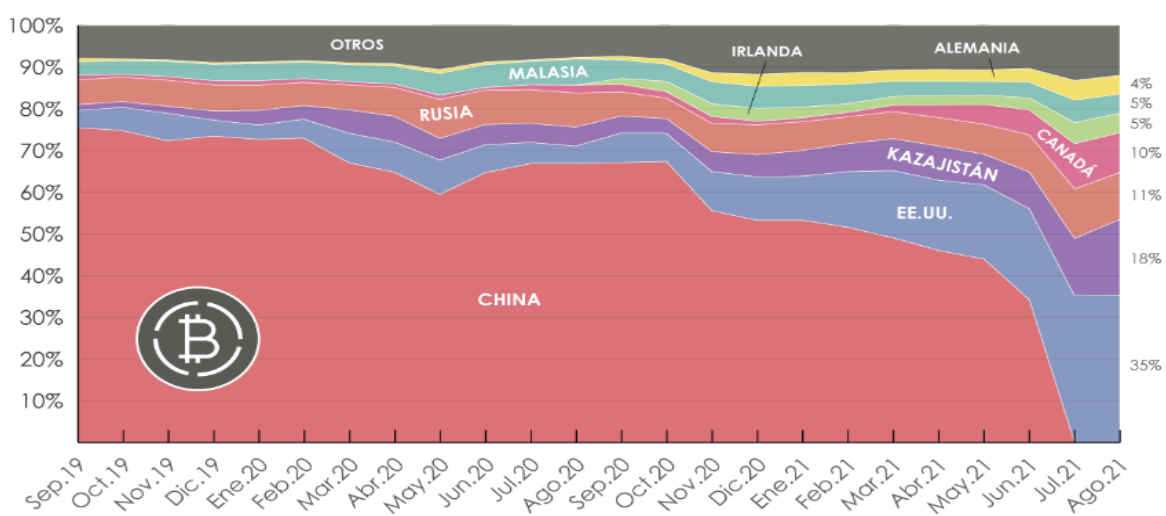
Como se evidencia en el Figura 10, el valor de Bitcoin (BTC) se mantuvo relativamente estable en un rango de entre USD 10.000 y USD 14.000 en los períodos previos a la pandemia. Sin embargo, con la irrupción de la crisis sanitaria en 2021, la criptomoneda experimentó un incremento exponencial superior al 400% en un corto lapso de tiempo, alcanzando un máximo de USD 61.319.

Este notable ascenso puede atribuirse, en parte, al aumento de la inversión por parte de individuos que, enfrentando desempleo o una necesidad urgente de generar ingresos, optaron por incursionar en la minería de criptomonedas. Como consecuencia, se produjo una expansión significativa de las llamadas *Bitfarms* o granjas de minería, consolidando así el rol de Bitcoin como un activo refugio en un contexto de incertidumbre económica global.

La rentabilidad de las granjas de minería de criptomonedas ha fluctuado considerablemente a lo largo del tiempo y está determinada por factores como el precio de la criptomoneda, el costo de la electricidad, la eficiencia del hardware y la dificultad de minado. Durante los periodos alcistas, por ejemplo cuando Bitcoin y Ethereum alcanzaron valores elevados, los mineros podían recuperar su inversión en un plazo relativamente corto (entre 6 y 12 meses), mientras que en etapas bajistas, como sucedió en 2022 con el marcado retroceso de los precios, la rentabilidad cayó drásticamente hasta el punto de forzar el cierre de operaciones en regiones con altos costos de energía. A esto se suman cambios tecnológicos importantes, como la transición de Ethereum a proof of stake, que afectaron principalmente a la minería con GPU. En general, las granjas ubicadas en zonas con electricidad barata o fuentes de energía renovable y que mantienen equipos de última generación pueden lograr un retorno de la inversión en aproximadamente 12 a 24 meses, siempre y cuando las condiciones del mercado sean favorables y los costos operativos se administren con eficiencia.

Figura 11

Principales países con Bitfarms de Bitcoin



Nota. Datos obtenidos del Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI), 2021.

3.4 La paradoja de la descentralización

A pesar del crecimiento exponencial de Bitcoin, su evolución no está exenta de desafíos estructurales. El ecosistema de este activo digital presenta una significativa concentración de riqueza. Durante el año 2021, en pleno auge del criptoactivo, existieron aproximadamente 15.000 inversionistas, con una capitalización de mercado de USD 112.500 millones. No obstante, un tercio de este valor, equivalente a USD 37.500 millones, está en manos de solo 1.600 grandes inversores, lo que evidencia una marcada asimetría en la distribución del capital dentro de este mercado.

Este fenómeno plantea un interrogante fundamental en torno a la supuesta descentralización de Bitcoin. ¿No representa acaso una contradicción con el principio de equidad y democratización financiera que subyace a la filosofía de las criptomonedas? La alta concentración de activos en un número reducido de actores sugiere que, lejos de una distribución equitativa, el mercado cripto enfrenta un dilema estructural que podría impactar su estabilidad y accesibilidad a largo plazo.

El fenómeno de la concentración de Bitcoin en un número reducido de inversionistas plantea una contradicción fundamental respecto al principio de descentralización financiera que dio origen a las criptomonedas. Si bien Bitcoin surgió como una alternativa a los sistemas financieros tradicionales, promoviendo una estructura descentralizada y distribuida, la realidad muestra que una parte sustancial de su capitalización de mercado está controlada por una minoría de grandes poseedores, comúnmente denominados *whales* o ballenas. Esta alta concentración de riqueza genera interrogantes sobre el verdadero nivel de equidad y democratización en este mercado.

Desde una perspectiva económica, la centralización de activos en pocas manos puede derivar en una manipulación del mercado, afectando la estabilidad de los precios. Los grandes inversionistas tienen la capacidad de influir en la cotización de Bitcoin mediante operaciones de compra y venta de gran volumen, generando volatilidad artificial y desplazando a pequeños inversionistas del mercado. Esta dinámica es similar a lo que ocurre en los mercados financieros tradicionales, donde actores con alta liquidez pueden mover los precios de activos estratégicos. Sin embargo, en el caso de Bitcoin, la falta de regulación y supervisión por parte de entidades financieras tradicionales permite que estas prácticas se desarrollen sin restricciones significativas, lo que expone a los inversores minoritarios a riesgos considerables.

Además, la concentración de Bitcoin en un número reducido de direcciones sugiere que el acceso a esta criptomoneda no está tan distribuido como se podría pensar. Si bien cualquier persona con conexión a Internet puede adquirir fracciones de Bitcoin, el control efectivo del mercado sigue en manos de un grupo reducido de actores que poseen una cantidad significativa del suministro total. Esto refuerza la idea de que, al menos en su configuración actual, Bitcoin no ha logrado una distribución equitativa de la riqueza digital y sigue reproduciendo algunas de las desigualdades que caracterizan a los sistemas financieros convencionales.

Desde el punto de vista social y político, la centralización de esta criptomoneda en unas pocas billeteras también pone en duda su capacidad para actuar como un mecanismo de empoderamiento financiero para las masas. En teoría, las criptomonedas están diseñadas para permitir a cualquier individuo almacenar y transferir valor sin necesidad de intermediarios. Sin embargo, cuando una proporción significativa del suministro de Bitcoin está en manos de unos pocos, el ecosistema se vuelve susceptible a dinámicas de control similares a las del sistema bancario tradicional. En este sentido, algunos críticos argumentan que la descentralización de Bitcoin es más teórica que práctica y que, en la actualidad, sigue existiendo un grado de concentración que limita su potencial como herramienta de inclusión financiera.

Otro aspecto importante por considerar es el impacto de esta concentración en la seguridad de la red. Bitcoin opera bajo un modelo de consenso basado en la Prueba de Trabajo (*Proof of Work*), donde los mineros validan las transacciones y aseguran la integridad del sistema. Si bien la minería está descentralizada en términos de participación global, la acumulación de grandes cantidades de Bitcoin en unas pocas direcciones puede generar riesgos sistémicos en caso de que estos actores decidan liquidar sus posiciones de manera repentina. Un evento de venta masiva podría desencadenar una caída abrupta del precio, afectando no solo a los pequeños inversores, sino también a la confianza en la estabilidad de la criptomoneda.

Es importante destacar que este problema no es exclusivo de Bitcoin. Otras criptomonedas también enfrentan desafíos relacionados con la concentración de activos y la gobernanza del ecosistema. Sin embargo, dado el papel preponderante de Bitcoin en el mercado de criptodivisas, su estructura de propiedad y distribución tiene implicaciones significativas para el desarrollo de todo el sector.

A medida que Bitcoin continúa evolucionando y adquiriendo mayor relevancia en los mercados financieros globales, será fundamental abordar estas cuestiones para garantizar que su adopción no solo beneficie a una élite de grandes inversores, sino que realmente cumpla con su promesa de descentralización e inclusión financiera. Una posible solución podría provenir de la evolución de las Finanzas descentralizadas (*DeFi*), que ofrecen mecanismos alternativos para distribuir la propiedad y el acceso a los activos digitales de manera más equitativa. Asimismo, el desarrollo de políticas y regulaciones que fomenten una mayor transparencia en la tenencia y el comercio de criptomonedas podría contribuir a reducir los riesgos asociados con la concentración del mercado.

En resumen, la concentración de Bitcoin en manos de unos pocos actores representa un desafío estructural que cuestiona su descentralización efectiva y su capacidad para democratizar el acceso al capital digital. Si bien su tecnología permite transacciones sin intermediarios, la realidad del mercado muestra que el poder sigue estando en manos de grandes inversores, lo que limita su potencial como una alternativa equitativa a los sistemas financieros tradicionales. Para que Bitcoin logre consolidarse como un activo verdaderamente descentralizado y accesible, será necesario abordar los desafíos relacionados con la concentración de la riqueza y fomentar una mayor diversificación en su distribución.

3.5 Aplicaciones productivas en las DeFi

Las Finanzas descentralizadas (DeFi) han trascendido su papel inicial en el ecosistema financiero para integrarse en sectores productivos estratégicos, facilitando nuevas formas de financiamiento, optimización de costos y descentralización de procesos clave en la economía global. Estas innovaciones, impulsadas por contratos inteligentes, tokenización de activos y la eliminación de intermediarios financieros, han permitido que sectores como la energía, la agroindustria, el mercado inmobiliario y la manufactura se beneficien de mayor eficiencia operativa, transparencia y acceso a financiamiento sin fricciones.

Energía y mercados descentralizados de electricidad

El sector energético ha sido históricamente controlado por grandes compañías y reguladores estatales, lo que ha generado altos costos de distribución, dependencia en infraestructuras centralizadas y acceso limitado para productores independientes. Con la introducción de plataformas DeFi y mercados energéticos descentralizados, los consumidores pueden

comprar y vender electricidad sin necesidad de intermediarios, utilizando contratos inteligentes y redes blockchain para garantizar la ejecución automática de transacciones.

Un ejemplo concreto de esta aplicación se encuentra en los modelos de comercio de electricidad P2P (peer-to-peer), donde los productores de energía renovable, como paneles solares residenciales o pequeñas plantas eólicas, pueden tokenizar la electricidad generada y comercializarla en mercados abiertos. Plataformas como Power Ledger y WePower han desarrollado esquemas donde cada unidad de energía producida es representada por un token digital, permitiendo que los consumidores adquieran electricidad directamente desde los productores sin la intervención de empresas centralizadas. Este modelo no solo reduce costos de intermediación, sino que democratiza el acceso a fuentes renovables, permitiendo que más actores participen en el suministro energético de manera eficiente.

La automatización de pagos mediante stablecoins y criptomonedas específicas del sector energético también ha introducido mejoras en la liquidez del mercado. Gracias a los contratos inteligentes, los pagos se ejecutan de manera inmediata una vez confirmada la entrega de energía, eliminando demoras en los cobros y minimizando riesgos de incumplimiento. Este modelo es especialmente relevante en mercados emergentes, donde la infraestructura de pagos tradicionales suele ser ineficiente y costosa.

Otro aspecto clave de la descentralización en el sector energético es el desarrollo de redes eléctricas autónomas basadas en blockchain, que permiten la creación de microrredes comunitarias. En este esquema, grupos de consumidores pueden compartir energía generada localmente sin depender de operadores tradicionales, lo que facilita el acceso a energía limpia en comunidades rurales o zonas alejadas de las redes eléctricas principales.

Agroindustria y financiamiento descentralizado para productores

El acceso a financiamiento ha sido una de las principales barreras para pequeños y medianos productores agropecuarios, quienes históricamente han dependido de bancos y entidades financieras con altos requisitos de garantía y elevadas tasas de interés. La irrupción de las DeFi ha permitido la creación de mecanismos de crédito descentralizado donde los agricultores pueden obtener financiamiento global sin necesidad de intermediarios, utilizando sus activos productivos como colateral en plataformas descentralizadas.

Un desarrollo clave en este sector ha sido la tokenización de commodities agrícolas, donde productos como el trigo, la soja y el café pueden ser representados por tokens digitales respaldados por contratos inteligentes. Plataformas como GrainChain y AgriDigital han desarrollado modelos donde los agricultores pueden emitir tokens digitales equivalentes a su producción, que pueden utilizarse como colateral para préstamos descentralizados en plataformas DeFi. Esta innovación permite que los productores accedan a liquidez inmediata sin necesidad de vender su producción de manera anticipada, lo que les otorga mayor flexibilidad financiera y optimización en la planificación de sus cultivos.

Además del financiamiento, los contratos inteligentes han revolucionado los esquemas de cumplimiento de contratos en la agroindustria. En el modelo tradicional, los pagos a productores suelen estar sujetos a largos plazos de liquidación y a la intervención de múltiples intermediarios. Con los smart contracts, los pagos pueden ejecutarse automáticamente una vez que se verifica la entrega de la producción, eliminando incertidumbre y garantizando una mayor estabilidad financiera para los agricultores.

Otro avance significativo en la agroindustria es la implementación de seguros descentralizados basados en blockchain, los cuales permiten a los agricultores protegerse de eventos climáticos adversos sin necesidad de procesos burocráticos largos. Plataformas como Etherisc han desarrollado sistemas donde los pagos de seguros son ejecutados automáticamente mediante oráculos climáticos, que verifican las condiciones meteorológicas en tiempo real. En caso de sequía o inundación, el agricultor recibe una compensación inmediata sin necesidad de realizar reclamos manuales, optimizando así la gestión de riesgos en la producción agrícola.

Sector inmobiliario y tokenización de bienes raíces

El sector inmobiliario ha comenzado a beneficiarse de la tokenización de activos físicos, permitiendo la fraccionación de la propiedad de bienes raíces en tokens negociables. Esta tecnología ha transformado el mercado de inversión inmobiliaria, reduciendo las barreras de entrada para pequeños inversores y permitiendo la compraventa de participaciones en propiedades sin necesidad de procesos burocráticos costosos.

Plataformas como RealT y Propy han desarrollado ecosistemas donde los inversores pueden comprar fracciones de propiedades tokenizadas, lo que permite acceder al mercado

inmobiliario sin necesidad de adquirir una propiedad completa. A través de estos sistemas, los inversionistas reciben dividendos generados por los alquileres o la apreciación del valor del inmueble, con todos los pagos gestionados mediante contratos inteligentes, lo que elimina la necesidad de intermediarios tradicionales como bancos y corredores inmobiliarios.

El uso de DeFi también ha permitido la creación de esquemas de financiamiento alternativo en bienes raíces, donde los propietarios pueden utilizar sus activos tokenizados como colateral en plataformas de préstamos descentralizados. A través de protocolos como Aave y MakerDAO, los inversionistas pueden solicitar créditos utilizando sus propiedades tokenizadas como garantía, accediendo a financiamiento sin las restricciones impuestas por bancos tradicionales.

Manufactura y cadena de suministro descentralizada

La integración de las DeFi en la industria manufacturera ha permitido una mayor transparencia y eficiencia en la cadena de suministro, eliminando intermediarios y facilitando la trazabilidad de insumos y productos terminados. En los modelos tradicionales, las empresas deben depender de sistemas centralizados de validación y financiamiento, lo que genera altos costos y tiempos de espera prolongados en los pagos a proveedores.

Mediante la implementación de contratos inteligentes en plataformas blockchain, los pagos a proveedores pueden ejecutarse automáticamente una vez confirmada la entrega de insumos, eliminando retrasos en los cobros y mejorando el flujo de caja de las empresas. Esta tecnología ha sido adoptada en industrias como la automotriz y la electrónica, donde la optimización de la cadena de suministro es clave para la eficiencia operativa.

Asimismo, la tokenización de activos en la manufactura ha permitido la creación de sistemas de financiamiento descentralizado para proveedores, donde pequeñas empresas pueden obtener liquidez utilizando sus inventarios como colateral en plataformas DeFi. A través de estos modelos, los fabricantes pueden acceder a capital de trabajo sin necesidad de recurrir a intermediarios financieros tradicionales, lo que mejora su competitividad y capacidad de producción.

Otro uso innovador de blockchain en la manufactura es la verificación de autenticidad de productos, donde se utiliza tecnología descentralizada para garantizar que los bienes sean

rastreables a lo largo de toda la cadena de producción y distribución. Esto es especialmente relevante en industrias como la de bienes de lujo, farmacéutica y alimentaria, donde la falsificación de productos representa un problema significativo.

Como se denota, estas aplicaciones demuestran que las Finanzas descentralizadas están transformando diversos sectores productivos, ofreciendo soluciones innovadoras para financiamiento, comercialización y optimización de procesos industriales.

3.6 Desafíos ambientales

Las Finanzas descentralizadas (DeFi) han surgido como una de las innovaciones más disruptivas en el ámbito financiero y tecnológico, permitiendo la automatización de transacciones sin intermediarios, el acceso global a productos financieros y la descentralización del crédito y la inversión. Sin embargo, junto con estos avances, han surgido preocupaciones ambientales significativas, especialmente en relación con el alto consumo energético de las infraestructuras blockchain que sustentan las DeFi y la creciente generación de residuos electrónicos derivada de la obsolescencia del hardware utilizado en la minería y validación de transacciones.

Estos impactos no son un fenómeno aislado, sino que responden a la naturaleza técnica de las redes blockchain, particularmente aquellas basadas en mecanismos de consenso como Proof of Work (PoW), que requieren enormes cantidades de poder computacional y electricidad. Adicionalmente, el rápido recambio tecnológico de equipos de minería y nodos validadores contribuye a la acumulación de desechos electrónicos, planteando serios desafíos en términos de gestión de residuos tecnológicos y huella de carbono.

Alto consumo energético en redes blockchain y su impacto ambiental

Uno de los principales problemas ambientales asociados con las DeFi es su intensivo consumo de energía, derivado de su dependencia de blockchains como Ethereum y Bitcoin, que hasta hace poco utilizaban mecanismos de consenso basados en Proof of Work (PoW). Este sistema, diseñado para garantizar la seguridad y descentralización de la red, implica que los mineros deben competir en la resolución de complejos cálculos criptográficos para validar transacciones, lo que consume grandes cantidades de electricidad.

Según un informe del Cambridge Centre for Alternative Finance (2021), la minería de Bitcoin llegó a consumir alrededor de 121 TWh (teravatios-hora) al año, un nivel de consumo superior al de países enteros como Argentina o los Países Bajos. Dado que muchas plataformas DeFi se ejecutaban en redes PoW como Ethereum antes de su transición a Proof of Stake (PoS) en septiembre de 2022, el impacto energético de estas plataformas era igualmente significativo. Un estudio de Köhler y Pizzol (2019) estimó que el consumo energético de Ethereum previo a su actualización podía oscilar entre 20 y 50 TWh anuales, dependiendo de la dificultad de la red y el número de transacciones procesadas.

El alto consumo de energía de las DeFi no solo genera un aumento en la huella de carbono, sino que también tensiona las redes eléctricas en regiones donde se concentran operaciones de minería y validación de transacciones. Países como China, Kazajistán y Rusia han sido epicentros de la minería de criptoactivos debido a sus bajos costos de electricidad, pero esto ha generado impactos negativos, como mayor uso de combustibles fósiles para generar electricidad, aumento en el precio de la energía para los consumidores locales y regulaciones gubernamentales más estrictas sobre el uso de blockchain en estas regiones.

A pesar de la adopción de mecanismos más eficientes, como Proof of Stake en Ethereum o Algorand, la energía utilizada en redes blockchain sigue siendo un desafío, ya que la escalabilidad de las DeFi requiere una infraestructura cada vez más robusta. Incluso con PoS, las transacciones requieren nodos validadores con hardware especializado que sigue consumiendo recursos, aunque en menor proporción.

Generación de residuos electrónicos y obsolescencia tecnológica

Además del impacto energético, la industria blockchain asociada a las DeFi enfrenta un problema creciente relacionado con la obsolescencia del hardware utilizado en la minería y validación de transacciones. Las computadoras y equipos ASIC (Application-Specific Integrated Circuit), utilizados para procesar transacciones en redes PoW y en algunos nodos de redes PoS, tienen un ciclo de vida corto, lo que genera grandes volúmenes de desechos electrónicos cada año.

Según un estudio de de Vries (2021), la minería de Bitcoin por sí sola produce más de 30.7 kilotoneladas de residuos electrónicos al año, debido a la rápida obsolescencia del hardware de minería, el cual debe ser renovado constantemente para mantenerse competitivo en la validación de bloques. En comparación, este volumen de desechos electrónicos es similar al generado por países enteros como Luxemburgo.

En el caso de Ethereum y otras redes que han migrado a PoS, aunque el hardware utilizado por validadores es menos intensivo en energía, los servidores y equipos de validación aún requieren actualizaciones periódicas para mantener la eficiencia de la red. Este fenómeno plantea desafíos en la gestión de residuos tecnológicos, ya que la infraestructura DeFi depende de un ecosistema global de validadores y operadores de nodos que generan un flujo constante de desechos electrónicos.

Otro problema derivado de esta obsolescencia es la falta de regulación y programas efectivos de reciclaje para el hardware utilizado en blockchain. Actualmente, no existen protocolos específicos para la disposición adecuada de hardware minero, lo que provoca que muchos de estos dispositivos terminen en vertederos, donde sus componentes tóxicos pueden contaminar el suelo y el agua.

Alternativas y soluciones para mitigar el impacto ambiental de las DeFi

Si bien las DeFi presentan desafíos significativos en términos de consumo energético y residuos electrónicos, existen iniciativas en desarrollo para reducir su impacto ambiental. La migración de Ethereum a Proof of Stake, que reduce el consumo energético en 99,95%, ha sido uno de los mayores avances en esta dirección (Buterin, 2022).

Además, han surgido proyectos blockchain diseñados específicamente para operar con baja huella de carbono, como Algorand y Tezos, que implementan mecanismos de validación energéticamente eficientes. Otras propuestas incluyen la implementación de cadenas laterales (sidechains) y soluciones de capa 2, como Polygon y Optimistic Rollups, que permiten procesar transacciones fuera de la cadena principal, reduciendo así el uso de energía y mejorando la escalabilidad sin comprometer la seguridad.

Por otro lado, algunas plataformas están promoviendo la reutilización de hardware de minería para tareas computacionales útiles, como la investigación científica y el modelado de datos climáticos. Proyectos como Folding@home y BOINC han explorado la posibilidad de redirigir el poder computacional no utilizado hacia iniciativas de investigación médica y modelado del cambio climático.

En cuanto a la gestión de residuos electrónicos, es crucial que la industria blockchain implemente protocolos de reciclaje y reutilización de hardware, promoviendo un enfoque de economía circular para la infraestructura digital. Algunas empresas han comenzado a

desarrollar programas de recompra y reciclaje de equipos, lo que podría mitigar el impacto de la obsolescencia tecnológica a largo plazo.

Si bien parte del ecosistema ha migrado hacia modelos más sostenibles, como la prueba de participación (PoS), persisten tensiones entre escalabilidad, seguridad y consumo energético. Asimismo, la tokenización de activos ambientales plantea nuevos desafíos de verificación y trazabilidad. En el [Anexo D](#) se presenta una sistematización de los principales riesgos ambientales asociados a los criptoactivos y a las finanzas descentralizadas, considerando tanto sus efectos directos como indirectos.

3.7 Desafíos institucionales: regulación de criptoactivos

Las criptomonedas suelen ser percibidas como activos que operan al margen de la regulación nacional, sin embargo, sus valoraciones, volúmenes de transacción y bases de usuarios responden de manera significativa a las iniciativas regulatorias implementadas por las autoridades financieras (Auer, 2018). La magnitud de esta repercusión varía en función de la categoría regulatoria a la que se refiera la noticia. Las disposiciones sobre prohibiciones generales o la inclusión de estos activos en la legislación sobre valores generan los efectos negativos más pronunciados en el mercado. En un segundo nivel de impacto, se encuentran las medidas vinculadas a la lucha contra el lavado de activos y la financiación del terrorismo, así como las restricciones a la interoperabilidad de las criptomonedas con los mercados regulados.

En el ámbito regulatorio, es fundamental que las autoridades clarifiquen el marco normativo aplicable a las actividades relacionadas con los criptoactivos, basándose en criterios funcionales en lugar de en la tecnología subyacente. Esto podría requerir la redefinición de las competencias entre organismos reguladores nacionales, con el propósito de establecer con precisión sus respectivas áreas de responsabilidad. Asimismo, el carácter global de las criptomonedas impone la necesidad de un monitoreo constante del sector y de la implementación de medidas regulatorias coordinadas a nivel internacional. La cooperación entre jurisdicciones facilitaría la eficacia de las políticas, especialmente en un contexto donde la evolución del mercado y el arbitraje regulatorio pueden limitar la efectividad de las intervenciones aisladas. No obstante, la falta de consenso global no debería interpretarse como un obstáculo insalvable para la adopción de regulaciones eficaces a nivel nacional.

Auer (2018) establece que la regulación de los criptoactivos debería enmarcarse dentro de tres grandes categorías: la prevención del financiamiento de actividades ilícitas, la protección de los derechos del consumidor frente a fraudes y estafas, y la integración de los mercados y sistemas de pago en pos de la estabilidad financiera.

El primer eje regulatorio responde a los principios establecidos por el Grupo de Acción Financiera Internacional (GAFI), organismo que lidera la lucha contra el lavado de activos y la financiación del terrorismo. Desde esta perspectiva, se requiere una regulación que garantice la transparencia y trazabilidad de los fondos, permitiendo el acceso a información relevante sobre su origen y destino. En el sector bancario tradicional, se han desarrollado soluciones que fortalecen la supervisión y la seguridad en las transacciones internacionales. Un ejemplo de ello es el sistema de mensajería financiera internacional de la Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication (SWIFT), el cual opera a través del código Bank Identifier Code (BIC), compuesto por una serie alfanumérica de 8 a 11 dígitos que identifica de manera unívoca a las entidades financieras involucradas en una operación transfronteriza. Este sistema se aplica en aquellos países fuera de la Zona Única de Pagos en Europa (SEPA), que comprende los 28 países de la Unión Europea, así como Liechtenstein, Islandia, Noruega, Andorra, Mónaco, San Marino, Suiza, Reino Unido y Ciudad del Vaticano. Su propósito es facilitar la vinculación de cuentas bancarias a nivel internacional, optimizando los procesos de transferencia y reduciendo el margen de error, los tiempos de validación y los costos asociados.

Este mecanismo se complementa con el International Bank Account Number (IBAN), un identificador alfanumérico que estandariza la información sobre las cuentas bancarias. Este código está compuesto por un prefijo de dos letras que indica el país de origen (por ejemplo, AR para Argentina), seguido de una serie de números que identifican el banco, la sucursal, el código de control y los datos específicos de la cuenta del cliente.

En cuanto a la protección de los derechos del consumidor, el segundo eje regulatorio se centra en la prevención de fraudes, estafas y abusos financieros. Actualmente, las instituciones bancarias han implementado departamentos especializados en la detección y prevención de este tipo de delitos, analizando las experiencias de los clientes a partir de denuncias y patrones de comportamiento sospechosos. Este análisis se traduce en la construcción de matrices de riesgo que permiten identificar operaciones potencialmente fraudulentas mediante un sistema de preguntas de verificación. De este modo, se busca

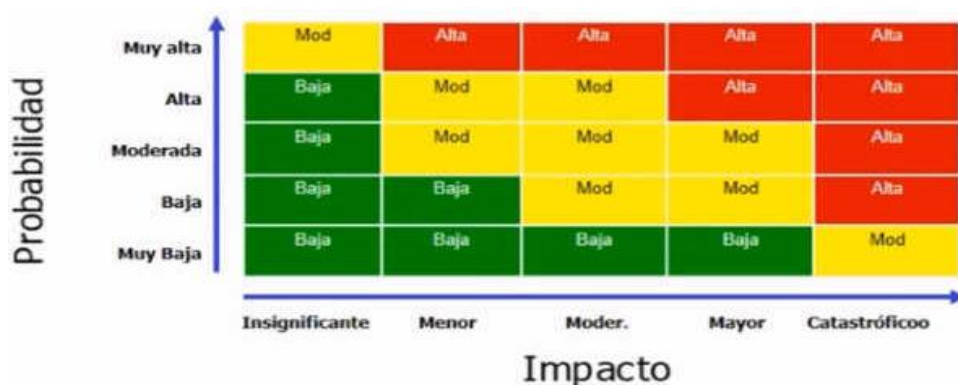
fortalecer la seguridad del usuario y mitigar los riesgos asociados a transacciones de origen dudoso.

El tercer aspecto regulatorio involucra la integración de los mercados y los sistemas de pago, con el objetivo de garantizar la estabilidad financiera en un contexto globalizado. Según el Fondo Monetario Internacional (2002), la integración de los mercados financieros puede acelerar el crecimiento económico, fomentar la creación de empleo con mejores condiciones salariales y contribuir a la reducción de la pobreza. La apertura de los mercados posibilita la adopción de nuevas tecnologías y conocimientos avanzados en materia financiera, lo que a su vez permite la mejora de los procesos productivos y la optimización de la asignación de recursos. Además, la interconexión entre economías facilita la firma de tratados internacionales y acuerdos comerciales que resultan fundamentales para el desarrollo de las naciones.

En línea con lo mencionado, la regulación de las criptomonedas debe abordarse desde una perspectiva multidimensional, abarcando tanto la prevención de delitos financieros como la protección de los consumidores y la integración de los mercados. La experiencia del sistema bancario tradicional ofrece herramientas valiosas que pueden adaptarse a este nuevo paradigma financiero. A medida que el ecosistema de criptoactivos continúa evolucionando, será esencial que las políticas regulatorias acompañen este desarrollo con el fin de garantizar un entorno seguro, transparente y eficiente para todos los participantes del mercado.

Figura 12

Matriz clásica de análisis triangular de Probabilidad de ocurrencia y su impacto



Nota. Elaboración propia.

La estabilidad financiera desempeña un papel fundamental en los modelos económicos de cualquier entidad o nación, ya que garantiza la resiliencia del sistema financiero ante

perturbaciones y desequilibrios que podrían comprometer su funcionamiento. Según el Banco Central Europeo, se entiende por estabilidad financiera aquella situación en la que los intermediarios financieros, los mercados y las infraestructuras de mercado poseen la capacidad de absorber impactos adversos y corregir abruptamente posibles distorsiones sin que ello genere efectos negativos significativos sobre la actividad económica real. La solidez de este sistema es crucial para evitar crisis que puedan afectar tanto la intermediación financiera como el crecimiento económico y el bienestar social.

Para preservar la estabilidad del sistema financiero, es necesario implementar políticas de carácter macroprudencial, cuyo objetivo principal es mitigar riesgos sistémicos y fortalecer la capacidad de resistencia del sector. Estas políticas pueden estructurarse en torno a tres dimensiones clave.

En primer lugar, la dimensión temporal se enfoca en la gestión de los riesgos a lo largo del ciclo financiero. Su propósito es limitar la acumulación excesiva de riesgos derivados de factores externos y fallos del mercado que puedan exacerbar la volatilidad del sistema. Para ello, se busca desarrollar herramientas que permitan suavizar el impacto de las fluctuaciones económicas y evitar escenarios de sobreendeudamiento o desajustes en la liquidez, promoviendo un enfoque orientado a un marco regulatorio que contemple la influencia del tiempo en la gestión de riesgos y asegurando que las entidades financieras adopten estrategias sostenibles en el largo plazo.

En segundo lugar, la dimensión transversal hace referencia a la administración eficiente de la capacidad de resistencia del sector financiero y la mitigación de los efectos de contagio entre entidades y mercados. En este contexto, se pretende identificar y contener los riesgos encapsulados en sectores específicos del sistema, impidiendo que su propagación genere inestabilidad generalizada. La diversificación de riesgos, el fortalecimiento de la supervisión financiera y el desarrollo de mecanismos de respuesta rápida son elementos clave para evitar la transmisión de crisis entre distintos actores del mercado.

Finalmente, la dimensión estructural se orienta a fomentar una visión integral del sistema financiero a nivel regulatorio, promoviendo la creación de incentivos adecuados para los participantes del mercado. Esto implica el desarrollo de políticas que faciliten la cooperación internacional y la adopción de estándares homogéneos en materia de regulación y supervisión financiera, donde la coordinación entre entidades y naciones permite generar un

entorno más equitativo y estable, reduciendo la fragmentación del sistema y favoreciendo la integración económica

En el ámbito de la valuación contable, cada país debe establecer un marco normativo que garantice la correcta evaluación del flujo, el stock y los resultados tanto técnicos como financieros de sus activos. La aplicación de criterios contables adecuados es fundamental para asegurar la transparencia y comparabilidad de la información financiera, facilitando la toma de decisiones económicas y garantizando la coherencia en la presentación de los estados contables.

El enfoque normativo debe contemplar principios de reconocimiento, medición y presentación de los activos, considerando su naturaleza y el impacto que generan en la posición financiera de una entidad. Además, resulta esencial que este marco regulador se alinee con estándares internacionales como las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) o los Principios de Contabilidad Generalmente Aceptados (GAAP), promoviendo la armonización contable y facilitando la integración de las entidades en los mercados financieros globales.

El análisis del flujo permite evaluar la dinámica de los recursos en un período determinado, mientras que el stock refleja la acumulación de activos en un momento específico. Asimismo, la medición del resultado técnico y financiero proporciona información clave sobre la eficiencia operativa y la rentabilidad, considerando tanto la valuación histórica como las metodologías de valor razonable o de actualización, de acuerdo con la normativa vigente.

En el contexto internacional, las directrices más relevantes para la valuación contable de criptomonedas provienen del Consejo de Normas Internacionales de Contabilidad (IASB), respaldado por las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF), también conocidas como IFRS. Estos sistemas de valuación permiten establecer una base comparativa entre los estados contables de distintas entidades financieras a nivel global, asegurando uniformidad en la presentación de la información financiera.

Conceptualmente, los Estándares Internacionales de Contabilidad se integran dentro de los Estándares Internacionales de Información Financiera. Su denominación responde a su función como modelo, norma, patrón o referencia dentro del ámbito contable, incluyendo los estándares contables propiamente dichos, las regulaciones sobre información financiera y las interpretaciones derivadas de estos.

Las entidades de origen estadounidense o aquellas que cotizan en la Bolsa de Valores de Nueva York están sujetas a la normativa contable establecida por el *Financial Accounting Standards Board* (FASB), que dicta los estándares U.S. GAAP. No obstante, las metodologías de valuación establecidas en este marco presentan diferencias sustanciales con respecto a las normas internacionales, lo que puede generar discrepancias en la exposición de los estados financieros de las empresas que operan en múltiples jurisdicciones.

Por ejemplo, si realizamos una comparación (Boned Torres, 2018) entre las normativas I.F.R.S. y US GAAP podemos contemplar lo siguiente:

Tabla 3

Comparativa sobre el estado de flujo de tesorería

I.F.R.S.	US G.A.A.P.
I.A.S. 7	ASC 230, 830
Se puede presentar mediante el método directo o mediante el método indirecto, agrupando los flujos en explotación, inversión y financiación.	Similar a la normativa I.F.R.S.
Los intereses y dividendos pagados pueden clasificarse como un flujo de explotación o de la financiación. Los intereses y los dividendos recibidos pueden clasificarse como un flujo de explotación o de las inversiones.	Los intereses pagados y recibidos y los dividendos recibidos se clasifican como flujos de explotación. Los dividendos pagados se clasifican con flujos de la financiación.
Los impuestos pagados se clasifican como flujos de efectivo de las actividades de explotación, excepto que puedan identificarse específicamente con actividades de financiación e inversión	Los impuestos se clasifican como actividades de explotación

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4

Comparativa sobre la valuación de intereses

I.F.R.S.	US G.A.A.P.
IAS 23	ASC 835, 840
Cuando una empresa se financia específicamente con el propósito de obtener un activo apto, la entidad determina la cantidad de los intereses susceptibles de capitalización, a los que deberá deducir los rendimientos conseguidos por la inversión temporal de tales fondos.	A diferencia de las IFRS, normalmente, no se permite una deducción por los rendimientos conseguidos por la inversión temporal de los fondos obtenidos por la financiación no aplicada.
Los costos de financiación pueden interpretarse más ampliamente que los costes por los intereses. También se incluyen, por ejemplo, las diferencias de cambio que surgen de los préstamos en moneda extranjera en la medida en que se consideren un ajuste al coste de los intereses.	A diferencia de las IFRS, los costos de financiación suelen limitarse al coste de los intereses.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5

Comparativa fiscal

I.F.R.S.	US G.A.A.P.
IAS 12	ASC 740,805
En general, los impuestos diferidos se registran de acuerdo con un enfoque de activos y pasivos que se centra en las diferencias temporarias que surgen entre la base fiscal de un activo o pasivo y su valor contable.	También siguen un enfoque activo y pasivo en el cálculo de los impuestos diferidos, pero hay algunas diferencias en la aplicación del enfoque de las IFRS.

Los activos (y pasivos) por impuestos diferidos deben clasificarse como no corrientes.	A diferencia de las IFRS, los activos y pasivos por impuestos diferidos se presentan con normalidad en corrientes y no corrientes, en función del plazo esperado para su aplicación.
--	--

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6

Comparativa sobre instrumentos financieros

I.F.R.S.	US G.A.A.P.
IAS 32, 39, IFRS 9	ASC 310, 320, 321, 325, 815
Divide los activos financieros en: 1. Activos financieros: a valor razonable con cambios en resultados. 2. Los préstamos y cuentas que cobrar: a coste amortizado. 3. Las inversiones a vencimiento: a coste amortizado. 4. Disponibles para la venta: a valor razonable contra reservas de revaloración.	Los activos y pasivos financieros aptos para su reconocimiento a valor razonable difieren. Las IFRS son más restrictivas. Los activos financieros a valor razonable contra la cuenta de resultados básicamente son los considerados mantenidos para negociar. Con US GAAP no existe esquema de categorización explícita para los activos financieros, suelen clasificarlos en: inversiones a vencimiento, para especulación y para la venta.

Nota. Elaboración propia.

Los objetivos de las IFRS buscan introducir una serie de cambios significativos en la contabilidad, estableciendo criterios más dinámicos y ajustados a la realidad económica de los activos y pasivos de las entidades.

En cuanto a la definición de criptoactivo, el enfoque se aleja del concepto tradicional de propiedad y se orienta hacia la capacidad de generar flujos de efectivo. Para que un bien sea clasificado como activo, debe ser controlable, cuantificable y medible, sin que la titularidad exclusiva sea un requisito esencial.

El tratamiento contable del costo histórico también experimenta modificaciones bajo este marco normativo. En lugar de mantener el valor de adquisición de un bien inalterable, las normas internacionales requieren que, tras la compra, los activos sean medidos conforme a su *fair value* o valor razonable, asegurando que los estados financieros reflejen su valor económico actual.

El concepto de deterioro o *impairment* introduce la obligación de evaluar periódicamente si un activo ha perdido valor. Si el valor en libros de un activo es superior a su valor de uso o de mercado, la diferencia debe reconocerse como una pérdida en los estados financieros, lo que garantiza una representación más precisa del valor de los activos de la entidad.

La normativa internacional no permite la activación de ciertos gastos que tradicionalmente se consideraban activos en algunos marcos contables. Gastos preoperativos, pagos anticipados y cargos diferidos no pueden ser registrados como activos, dado que no cumplen con los criterios de control, cuantificación y generación de beneficios económicos. En algunas jurisdicciones, como Colombia, la aplicación de esta normativa implicaría modificaciones en el Código de Comercio y en la estructura contable de diversas entidades.

Asimismo, las normas internacionales eliminan las cuentas de orden y modifican la clasificación de ingresos, costos y gastos. Bajo este esquema, únicamente existen ingresos y gastos para reflejar la actividad ordinaria y operativa de una empresa. Cualquier ingreso que no derive directamente de la operación principal de la entidad se clasifica como ganancia, lo que implica un ingreso extraordinario de beneficios económicos. Del mismo modo, las pérdidas reflejan una disminución de estos beneficios fuera de las actividades regulares.

En el caso de las criptomonedas, su valuación y tratamiento contable presentan desafíos particulares debido a su elevada volatilidad, la falta de correlación con otros activos y la ausencia de un mercado de referencia consolidado. Al cierre de cada período contable, las empresas deben determinar el valor razonable de las criptomonedas que poseen y evaluar si existe evidencia objetiva de deterioro. En este sentido, el reconocimiento contable de las fluctuaciones en el valor de estos activos puede tener un impacto significativo en los estados financieros, dependiendo del enfoque contable adoptado.

La elección de la cartera de criptomonedas y la metodología para registrar las variaciones en su valor representan factores determinantes en la presentación de los resultados financieros. Algunas entidades optan por reflejar estos activos como inversiones de alto riesgo, mientras que otras los consideran activos intangibles o reservas de valor, dependiendo de su estrategia

y del marco regulatorio aplicable en cada jurisdicción. La falta de un consenso global sobre su tratamiento contable genera la necesidad de adaptar constantemente los criterios de valuación, asegurando que reflejen con precisión la realidad económica de las criptomonedas dentro de los balances financieros.

Dado el carácter extenso y en constante evolución del marco regulatorio vinculado a los criptoactivos, se ha incluido en el [Anexo A](#) de esta tesis un desarrollo detallado de la normativa vigente en Argentina, la Unión Europea, Estados Unidos y otras jurisdicciones relevantes del ámbito internacional. Este compendio permite contrastar enfoques regulatorios diversos, identificar tendencias comunes y visualizar las asimetrías existentes en materia de supervisión, contabilidad y fiscalidad de activos digitales.

A su vez, además el desarrollo de activos digitales y tecnologías asociadas como blockchain y contratos inteligentes presenta fuertes contrastes entre jurisdicciones. En el [Anexo C](#) se presentan estudios de caso que ilustran estas diferencias regulatorias, abordando la Ley MiCA (UE), el proyecto FIT21 (Estados Unidos) y el caso de El Salvador.

3.8 Consideraciones finales del capítulo

El capítulo permitió identificar que el ecosistema DeFi posee un fuerte potencial de transformación financiera, aunque enfrenta tensiones estructurales vinculadas a su descentralización efectiva, a la fragmentación normativa y a la falta de estándares contables homogéneos. También se observó que la tokenización de activos reales puede actuar como puente entre el sistema financiero tradicional y el descentralizado, especialmente en economías emergentes. En lo regulatorio, se destacó la coexistencia de marcos promotores, restrictivos y experimentales (sandboxes), lo cual genera asimetrías significativas en la adopción global.

Síntesis de hallazgos clave

- **Eficiencia y reducción de costos:** Las plataformas DeFi eliminan intermediarios y reducen costos operativos, lo que puede generar una mayor eficiencia en comparación con el sistema financiero tradicional.

- **Inclusión financiera:** Se confirma que las DeFi pueden mejorar el acceso a servicios financieros en mercados emergentes y comunidades sub-atendidas.
- **Desafíos regulatorios:** La falta de normativas homogéneas sigue siendo una barrera para la integración de las DeFi con los mercados financieros convencionales.
- **Impacto ambiental:** El consumo energético de las redes blockchain y la generación de residuos electrónicos plantean desafíos significativos en términos de sostenibilidad.
- **Aplicaciones productivas:** La tokenización y la descentralización pueden mejorar la eficiencia en sectores como la energía y la logística, aunque aún requieren desarrollos regulatorios para consolidarse.
- **Rol de la IA en la predicción regulatoria:** Los modelos de inteligencia artificial pueden ser herramientas útiles para anticipar cambios en la regulación y evaluar su impacto en la volatilidad del mercado.

Relación con los objetivos de la investigación

- **Objetivo general:** el análisis de las finanzas descentralizadas ha permitido evaluar su potencial impacto en el sistema financiero global y su posible contribución a la mitigación de crisis bancarias. En este sentido, se ha constatado que la eliminación de intermediarios puede generar eficiencia y resiliencia en los mercados financieros, reduciendo algunos de los riesgos sistémicos inherentes a la intermediación bancaria centralizada. Sin embargo, el crecimiento de este ecosistema aún enfrenta barreras regulatorias y desafíos tecnológicos que limitan su adopción masiva. La falta de una regulación clara y uniforme genera incertidumbre en los mercados y limita la adopción de estos activos por parte de inversores institucionales.
- **Objetivo Específico 1: Evaluar el papel de las DeFi en la mitigación de riesgos financieros y la inclusión económica:** En este capítulo se evidencia cómo la reducción de barreras de entrada y la automatización de procesos financieros pueden ampliar el acceso a productos financieros.
- **Objetivo Específico 2: Investigar el marco normativo y contable de las criptomonedas y su influencia en la valoración financiera:** Se analiza cómo la

falta de regulación clara genera incertidumbre y afecta la adopción institucional de estos activos. Por otra parte, se denota que la ausencia de lineamientos homogéneos genera dificultades en la valuación de estos activos, lo que impacta en la percepción de riesgo y en la transparencia de los estados financieros.

- **Objetivo Específico 3: Diseñar modelos predictivos para analizar la adopción de criptomonedas y su integración con activos productivos:** Si bien no se aborda directamente el diseño de modelos, se considera la aplicabilidad de las finanzas descentralizadas en sectores estratégicos y su potencial para mejorar la liquidez y el acceso a financiamiento.

Relación con las hipótesis de la investigación

Hipótesis General:

Se ha corroborado que las finanzas descentralizadas y los activos digitales generan un impacto disruptivo en el sistema financiero global, al reducir costos, mejorar la accesibilidad y ofrecer mecanismos alternativos de financiamiento e inversión. No obstante, la ausencia de regulación estandarizada y los desafíos de seguridad siguen representando obstáculos para su adopción masiva y su integración con el sistema financiero tradicional.

Hipótesis Específicas:

- **Hipótesis Específica 1: Las DeFi pueden atenuar la recurrencia de crisis bancarias.**

Se confirma que las DeFi pueden jugar un rol clave en la democratización del acceso a servicios financieros, aunque la volatilidad de los cryptoactivos y la falta de regulación siguen siendo factores limitantes para su adopción masiva.

- **Hipótesis Específica 2: La ausencia de un marco regulatorio y contable unificado entorpece la adopción de criptomonedas.**

Se corrobora que la ausencia de un marco normativo unificado dificulta la consolidación de las criptomonedas como instrumentos financieros convencionales, generando barreras para su adopción a nivel institucional.

- **Hipótesis Específica 4: Las tecnologías subyacentes a las finanzas descentralizadas y las criptomonedas fomentan la innovación y mejoran la eficiencia de los servicios financieros.**

Se observa que la descentralización, si bien reduce costos operativos, enfrenta un dilema de gobernanza que limita su aplicabilidad en entornos financieros altamente regulados. Se corrobora que los avances regulatorios pueden impulsar la integración de las finanzas descentralizadas con los mercados tradicionales. La aprobación de normativas como MiCA en la Unión Europea demuestra que una regulación clara puede fomentar la innovación y promover la adopción de estos activos.

- **Hipótesis Específica 5: La adopción de criptomonedas y finanzas descentralizadas impulsa la creación de mecanismos más robustos de seguridad y confianza dentro del ecosistema financiero.**

Se ha identificado que la adopción de criptomonedas y finanzas descentralizadas fomenta la innovación en la seguridad de los mercados financieros. La implementación de tecnologías como blockchain permite mejorar la trazabilidad y minimizar riesgos de fraude. Sin embargo, la volatilidad de los criptoactivos y la falta de marcos regulatorios adecuados pueden afectar la confianza de los inversionistas en este nuevo ecosistema financiero.

Limitaciones y consideraciones particulares

Si bien este capítulo ha permitido analizar el panorama regulatorio de las finanzas descentralizadas, es importante reconocer algunas limitaciones que deben ser consideradas para futuras investigaciones. En primer lugar, la regulación de los criptoactivos y DeFi está en constante evolución, lo que implica que algunos de los marcos normativos analizados podrían cambiar en el corto plazo, afectando la aplicabilidad de ciertas conclusiones.

Asimismo, el estudio comparativo entre distintas jurisdicciones se basa en fuentes disponibles al momento de la investigación, pero la falta de transparencia en ciertos mercados financieros dificulta el acceso a información actualizada sobre regulaciones específicas. En este sentido, futuras investigaciones podrían profundizar en el análisis empírico de la aplicación de normativas recientes, evaluando su impacto real en la adopción de las DeFi y en la estabilidad financiera.

Otra limitación radica en la falta de datos estandarizados sobre la contabilidad de criptoactivos, ya que diferentes países los clasifican bajo marcos normativos distintos (activos intangibles, valores financieros, mercancías, etc.). La ausencia de criterios homogéneos dificulta la comparación entre sistemas contables, lo que genera desafíos en la interpretación de los datos recopilados.

Tras analizar los desafíos regulatorios y contables de las finanzas descentralizadas, es fundamental explorar su aplicabilidad en distintos sectores productivos y evaluar cómo la tokenización de activos, la descentralización del crédito y la automatización de procesos financieros pueden generar nuevas oportunidades para la industria, la energía, la agroindustria y el sector inmobiliario. En este contexto, el próximo capítulo abordará el diseño y desarrollo de modelos teóricos y predictivos para medir la adopción de estos instrumentos en la economía real, así como su impacto en el financiamiento empresarial y la estructura de mercado.

Capítulo 4

Modelización y desarrollo teórico

El presente capítulo, se abordará a partir de dos premisas:

- Desarrollo de una encuesta sobre la adopción de las criptomonedas con fines transaccionales. A partir de los datos obtenidos, se hará un modelo de XAI para predecir las variables de respuesta.
- Desarrollo de un modelo de Redes Neuronales, a partir de la suposición de la confección de un instrumento de la banca tradicional, utilizando el principio de una criptomoneda local respaldada por los commodities.

4.1 Parte I: Adopción de criptomonedas con fines transaccionales

A medida que los mercados avanzan hacia un mayor grado de descentralización financiera, la demanda de aumentar la velocidad, la transparencia y la seguridad en las transacciones se convierte en una necesidad apremiante. La aparición de las criptomonedas ha generado un debate sobre la magnitud de su capacidad transaccional y el nivel de adopción que lograrán entre los agentes económicos. Los modelos existentes para articular estas relaciones se encuentran desactualizados, lo que dificulta la tabulación eficaz de metadatos en grandes volúmenes y plantea la necesidad de buscar mayor eficiencia en el análisis estadístico.

Por otro lado, los modelos de Inteligencia Artificial Explicable (XAI, por sus siglas en inglés) representan un enfoque innovador para abordar estos desafíos. Estos modelos y técnicas permiten que los seres humanos comprendan las decisiones y predicciones realizadas por la inteligencia artificial. En este contexto, el objetivo es analizar la probabilidad de adopción de las criptomonedas como herramientas transaccionales mediante un modelo XAI, el cual se manifiesta a través de regresiones logísticas que se correlacionan con árboles de decisión y modelos bayesianos. Este enfoque no solo proporciona una comprensión más profunda del comportamiento de los usuarios, sino que también facilita la identificación de los factores que influyen en la aceptación de las criptomonedas en el ámbito financiero.

En la actualidad, las criptomonedas han ganado popularidad como una forma de inversión y medio de intercambio. Su adopción y uso siguen siendo objeto de estudio, especialmente en relación con variables demográficas como el género y el rango etario. En este contexto, el uso de modelos de inteligencia artificial puede proporcionar insights valiosos respecto a la probabilidad de su adopción en un contexto de notoria descentralización financiera.

Como se mencionó en capítulos anteriores, la necesidad de la bancarización en nuestro país se ha denotado principalmente a partir de la pandemia por Covid-19 donde la restricción de circulación generó un problema en términos transaccionales con el dinero tradicional llevando a personas con bajo grado de aprehensión tecnológica a la utilización de sistemas completamente virtuales. En tal sentido, las criptomonedas surgieron como una posible solución ante las dificultades de la banca tradicional, con lo cual reportan un rol relevante en términos de transacciones libres, sin costos adicionales, confidencialidad y como prioridad, la seguridad de los usuarios.

Asimismo, se denota que la inducción de su uso comenzó en un primer momento con el público de bajo rango etario, focalizado en países desarrollados, (Pew Research Center, 2021). No obstante, la masificación llevó a traspasar las fronteras y llegar al resto del mundo, principalmente en América Latina, donde países como El Salvador y Venezuela han establecido su uso como medio transaccional, no sin pocas críticas y debate profesional y/o académico.

La relevancia de la temática subsiste incluso en su uso puesto que los agentes económicos relacionan las criptomonedas como alternativa de inversión o bien como medio de cambio, siendo incluso las motivaciones entre ellos ciertamente contradictorias, en virtud que la volatilidad con la que a los primeros se sienten receptivos, contrasta con la reserva de valor que pregonan los segundos. En tal sentido, resulta imperativo analizar con qué probabilidad las criptomonedas pueden cumplir un rol transaccional en las operaciones económicas.

Para ello, se utiliza un modelo de inteligencia artificial explicativa del tipo GLM (Modelo Lineal General), que permite calcular los estimadores internos a partir de subregresiones. Este enfoque facilita la generación de una interpolación de los datos a estimar, lo que conduce a una regresión logística final para llevar a cabo los diferentes análisis y contrastar la hipótesis planteada.

La muestra utilizada a tal fin comprende a 10,000 personas encuestadas, a quienes se les indaga sobre características demográficas, así como sobre su nivel de bancarización y uso de criptomonedas. El análisis cuantitativo se llevará a cabo utilizando los entornos R y RStudio, empleando los siguientes paquetes:

- Tidyverse (Wickham & Grolemund, 2017)
- ReadXL

- EIX
- DALEX
- DALEXtra
- Ctree
- Ggplot2

Este conjunto de herramientas permitirá una manipulación eficiente de los datos y la implementación de modelos avanzados para una interpretación detallada de los resultados obtenidos.

4.1.1 Entorno de la propuesta

El dinero exhibe una transformación que podría reconfigurar la banca, las finanzas e incluso la estructura de la sociedad. En particular, la era del dinero físico, está mostrando claras señales de una menor utilización, incluso en los países de ingreso medio y bajo, denotando una mayor participación a las criptomonedas. La proliferación de tecnologías digitales que potencia la descentralización financiera podría favorecer innovaciones útiles y ampliar el acceso a servicios básicos (Prasad, 2018). Las instituciones financieras tradicionales, en especial los bancos comerciales, ven amenazados sus modelos comerciales, toda vez que las nuevas tecnologías permiten la creación de entidades de unidades de negocio virtuales que intensifican la competencia, promueven la innovación y reducen los costos transaccionales.

El trabajo aquí expuesto pretende limitar el análisis de la adopción de criptomonedas únicamente para el sector privado no financiero en pos de cuantificar la probabilidad de que este segmento pueda utilizarla con fines transaccionales. En forma complementaria, se esbozará las principales fortalezas y limitaciones de su aplicación por parte el sector público.

En la modelización de esta premisa usualmente se utilizan modelos con ciertos sesgos implícitos y linealidades que no obedecen a una correcta caracterización del fenómeno en cuestión. En contraposición, la inteligencia artificial explicada (XAI) es un campo de estudio que se centra en el desarrollo de modelos de inteligencia artificial capaces de explicar procesos de toma de decisiones y predicciones de una manera comprensible para los hacedores de política. Usualmente, se interpretaban a partir de tablas de tautología dando resultados pocos precisos o con demasiadas iteraciones, lo que ralentizaba el acceso a conclusiones certeras (Neapolitan & Jiang, 2018).

A diferencia de los modelos de inteligencia artificial tradicionales que a menudo se consideran cajas negras debido a la falta de transparencia en sus procesos internos, los modelos de XAI buscan proporcionar explicaciones claras y transparentes en la contrastación de diversas hipótesis de investigación (Samek et al., 2017).

Dentro de este marco, se pretende estimar la probabilidad de adopción de criptomonedas con fines transaccionales. En base a ello, la XAI puede desempeñar un papel fundamental en la interpretación de los resultados en tanto permite descomponer el proceso de toma de decisiones del modelo e identificar posibles sesgos o factores de discriminación. En este sentido, al analizar la influencia del género y la edad en la adopción de criptomonedas, será importante asegurarse de que el modelo no esté sesgado hacia ciertos grupos demográficos y/o a determinados rangos etarios. En tal caso, la XAI puede proporcionar herramientas para detectar y mitigar esta problemática, evidenciando predicciones más equitativas y exhibiendo resultados con mejores prácticas de interpretación.

Los métodos orientados a la interpretabilidad y explicación permiten mejorar la comprensión de las habilidades y estrategias de resolución de problemas en el aprendizaje automático no lineal, razón por la cual se evidencia una creciente atención sobre los mismos, en particular en relación con sub-regresiones logísticas (Samek et al., 2017). La evaluación de la interpretabilidad de los algoritmos, tanto desde una perspectiva teórica como a partir de comparaciones exhaustivas mediante simulaciones extensas, conduce a mejoras en los modelos de aprendizaje profundo. En otras palabras, no solo se trata de verificar la consistencia estadística de resultados, sino también de evaluar la coherencia lógica de los valores obtenidos y su aplicabilidad al modelo en cuestión.

Una de las técnicas utilizadas en la XAI es la generación de explicaciones basadas en la importancia de las características. Mientras que los modelos de predicción tradicionales a menudo asumen relaciones lineales entre variables, la inteligencia artificial mediante el aprendizaje automático permite modelar asimetrías y patrones complejos en los datos económicos, junto con el procesamiento de grandes volúmenes de información y el entrenamiento de algoritmos a partir de sub-regresiones que se retroalimentan unas a otras. (Khamparia et al., 2019)

En base a ello, este trabajo otorga un peso fundamental al género y la edad en la predicción del uso de criptomonedas con fines transaccionales. A su vez, se utiliza como variable de

control al nivel educativo alcanzado para evaluar si grado de conocimiento del sistema financiero puede tener alguna afectación en su adopción.

Función de Regresión Logística.

La regresión logística es un tipo de análisis de regresión utilizado para predecir el resultado de una variable categórica en función de un conjunto de variables independientes o predictoras. A partir de ello, las probabilidades binomiales desconocidas se modelan como una función lineal de cada variable independiente, tal que:

$$\text{logit}(p_i) = \frac{\ln(p_i)}{1 - p_i}$$

Es decir:

$$\text{logit}(p_i) = B_0 + X_1B_1 + X_2B_2 + \dots + X_nB_n + \hat{u}$$

La optimización se realiza mediante el método de máxima verosimilitud con el fin de estimar los coeficientes de las variables independientes, mientras que la interpretación de los datos se encuentra representada por la estimación de los ratios de odds con el objetivo de evaluar una comparación del peso relativo entre variables dependientes del mismo conjunto pero diferenciados en alguna característica observable.

$$p_i = \frac{1}{1 + e^{-\text{logit}(p_i)}}$$

Esta forma funcional es comúnmente identificada como un *perceptrón* simple o red neuronal artificial de una sola capa, donde se realiza un acercamiento a la predicción de la probabilidad de ocurrencia del evento dado un conjunto de valores independientes dentro de la primera capa. Por tanto, el resultado obtenido se guarda como un aprendizaje para las siguientes, permitiéndola estimación probabilística a partir de factores independientes de la variable explicada dentro de la misma sub-regresión. De esta forma, el aprendizaje generado por los resultados del sub- modelo anterior, alimenta las capas superiores evitando hacer nuevos cálculos que afecten las estimaciones previas e imprimiéndole más eficiencia al proceso.

Uso y aplicación

Se emplea una regresión logística para modelar la relación entre el uso de criptomonedas con fines transaccionales y un conjunto de variables explicativas tendientes a capturar la

heterogeneidad observable de cada individuo. En particular, la inclusión de variables demográficas como el género y la edad pueden proporcionar información valiosa sobre los factores que influyen en la adopción de criptomonedas, de manera de guiar la política pública de asignación de recursos y/o privada en la búsqueda de nuevos mercados y mayor rentabilidad. El uso de inteligencia artificial en modelos explicativos como la regresión logística, puede ayudar a identificar patrones y relaciones complejas entre diversas variables. Además, este enfoque permite analizar cómo otras variables de interés pueden interactuar con el género y la edad para influir en la probabilidad de uso de estos activos digitales.

Con relación a ello, los modelos XAI se expresan íntegramente a partir de datos condicionados a variables binarias (verdadero-falso) los cuales, mediante la utilización de la inferencia lógica, trasladan un resultado numérico a dicotómico. A partir de esta condición, debe luego expresarse de forma matemática para luego ser calculado mediante algoritmos bayesianos (Neapolitan & Jiang, 2018).

4.1.2 Muestra

Se emplea una encuesta de opción múltiple a 10.000 personas obtenida durante el periodo comprendido entre el 1 de octubre al 18 de noviembre del año 2024 a nivel nacional sobre características que permitan modelar la probabilidad de adopción de las criptomonedas como medio transaccional por parte de los agentes económicos. La estructura de la encuesta y sus resultados se exhiben a continuación:

Tabla 7

Estructura de la encuesta

Edad	• 18 a 25 años
	• 25 a 30 años
	• 30 a 35 años
	• 35 a 40 años
	• Más de 40 años
Género	• Hombre
	• Mujer
	• No Binario

Máximo nivel educativo alcanzado	<ul style="list-style-type: none"> • Primario Incompleto
	<ul style="list-style-type: none"> • Primario Completo - Secundario Incompleto
	<ul style="list-style-type: none"> • Secundario Completo – Superior Incompleto
	<ul style="list-style-type: none"> • Superior Completo y más
¿Está bancarizado?	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO
¿Trabaja actualmente?	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO
¿Percibe asistencia social por parte del Estado?	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO
¿Lee noticias relacionadas a bancos comerciales?	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO
	<ul style="list-style-type: none"> • NO CONOZCO DEL TEMA
¿Lee noticias relacionadas al dólar?	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO
	<ul style="list-style-type: none"> • NO CONOZCO DEL TEMA
¿Lee noticias relacionadas a la situación financiera actual?	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO
	<ul style="list-style-type: none"> • NO CONOZCO DEL TEMA
¿Tiene billetera virtual?	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO
	<ul style="list-style-type: none"> • NO CONOZCO DEL TEMA
¿Invierte en plazos fijos, Acciones, FCI u otro activo financiero bursátil?	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO
	<ul style="list-style-type: none"> • NO CONOZCO DEL TEMA
¿Sabe qué es una Criptomoneda?	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO
	<ul style="list-style-type: none"> • NO CONOZCO DEL TEMA
¿Usaría criptomonedas como medio de transacción	<ul style="list-style-type: none"> • SI
	<ul style="list-style-type: none"> • NO

monetaria?	<ul style="list-style-type: none"> • NO CONOZCO DEL TEMA
------------	---

Nota. Elaboración propia

Se realizó una encuesta a unas 10.000 personas de las cuales se tomó como muestra representativa el 10% de los entrevistados, puesto que se evidenció cierto grado de duplicación en las respuestas debido a errores u omisiones por parte de los encuestados.

La composición muestral se observa en la Tabla 8, la cual quedó conformada con el 55% de hombres, 40% de mujeres y 5% no binarios.

Tabla 8

Desagregación de la muestra según rango etario

Edades	Total	Hombre	Mujer	No Binario
18 a 25 años	250	138	100	123
25 a 30 años	300	165	120	15
30 a 35 años	120	66	48	6
35 a 40 años	180	99	72	9
Más de 40 Años	150	83	60	8
TOTAL	1000	550	400	50

Nota: Elaboración propia.

Asimismo, desagregando la composición de entrevistados por rango etario, se denota que la edad promedio ronda los 41 años. En lo relativo al nivel educativo, en base a la evidencia de la Tabla 9, existe una adecuada distribución de la muestra en los diferentes niveles de escolaridad.

Tabla 9

Desagregación de la muestra por nivel educativo, género y rango etario

Máximo nivel educativo alcanzado.	Género			Edad Promedio		
	Hombre	Mujer	No Binario	Hombre	Mujer	No Binario
Superior completo y más	128	97	9	42	42	42

Secundario completo-Superior incompleto	140	106	15	42	40	40
Primario completo-Secundario Incompleto	129	98	12	40	41	39
Primario incompleto	153	99	14	41	40	42
Total	550	400	50	41	41	41

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10

Desagregación porcentual de la muestra por nivel educativo y género

Máximo nivel educativo alcanzado	Género		
	Hombre	Mujer	No Binario
Superior completo y más	23%	24%	18%
Secundario Completo - Superior Incompleto	25%	27%	30%
Primario Completo - Secundario Incompleto	23%	25%	24%
Primario Incompleto	28%	25%	28%
Total	100%	100%	100%

Nota. Elaboración propia.

El grado de bancarización de los sujetos encuestados especificados en la Tabla 11 es del 82%, quedando distribuidos en los siguientes rangos etarios:

Tabla 11

Grado de bancarización según rango etario y género

Edades	Total	Hombre	Mujer	No Binario
18 a 25 años	205	113	82	10
25 a 30 años	246	135	98	12
30 a 35 años	98	54	39	5
35 a 40 años	148	81	59	7
Más de 40 años	123	68	49	6
TOTAL	820	451	328	41

Nota. Elaboración propia.

4.1.3 Estimación y resultados

Antes de proceder con el procesamiento de datos en el algoritmo, es fundamental considerar la posible existencia de sesgos en la muestra. Este aspecto es crítico porque los sesgos pueden influir de forma significativa en la validez de los resultados obtenidos. La calidad de la encuesta debe garantizar que se incluyan datos suficientes y representativos, asegurando que las edades centrales no estén condicionadas exclusivamente por la variable del nivel educativo alcanzado. Para abordar este problema, se empleó técnicas de muestreo aleatorio estratificado, que permite la segmentación de la población en grupos homogéneos (estratos) según características relevantes como edad y nivel educativo. Esto garantiza que cada estrato esté adecuadamente representado en la muestra final.

A través de la contrastación de las respuestas obtenidas en la encuesta respecto al rango etario y el nivel educativo, se puede concluir que la muestra posee una consistencia adecuada, conforme a lo reportado en las tablas anteriores.

Los hallazgos también deben estar alineados con evidencias previamente documentadas (Consensus, 2023), lo que se puede corroborar mediante el análisis comparativo de estudios previos. Esta revisión no solo proporciona un contexto adicional, sino que también refuerza la validez de las conclusiones, contribuyendo a la robustez del estudio en su conjunto. De este modo, se establece una base sólida para la interpretación de los datos y su aplicación en desarrollos futuros.

Al procesar los datos mediante el software RStudio, se gestiona meticulosamente tanto el cálculo como la limpieza de los campos relevantes para asegurar la calidad de la información. Este proceso preliminar es fundamental para eliminar cualquier inconsistencia, outliers o datos faltantes que podrían afectar la validez de los resultados finales.

Una vez limpios y preparados, los datos se analizan utilizando modelos de tipo GLM (Modelo Lineal General) en el contexto de la Inteligencia Artificial Explicable (XAI). Estos modelos permiten evaluar y detallar las probabilidades derivadas de la regresión logística para cada nodo en el análisis y son expuestos en la Tabla 12. La implementación de regresiones logísticas facilita la interpretación de la relación entre las variables independientes y la variable dependiente, proporcionando insights sobre los factores que influyen en la adopción de criptomonedas. Al final este proceso, se exponen los resultados de la estimación:

Tabla 12*Estimación modelo GLM*

TYPE	ESTIMATE	STD. ERROR
HOMBRE	0,1170**	0,085
MUJER	0,1865**	0,132
NO BINARIO	0,2768**	0,296

*(**)* p -value < 0.05

Nota. Elaboración propia

Por último, en la Tabla 13 se analiza la evolución de los coeficientes para determinar la probabilidad de uso de criptomonedas con fines transaccionales según el género y centrados las variables en su valor medio.

Tabla 13*Estimación de probabilidad de uso de criptomonedas según género*

TYPE	ESTIMATE	OCURENCY
HOMBRE	0,1165	0,5858
MUJER	0,18652	0,5894
NO BINARIO	0,27684	0,3190

Nota: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Hombres con una edad promedio de 41 años tendrán una probabilidad de aceptación del 58,58%.
- Mujeres con una edad promedio de 41 años tendrán una probabilidad de aceptación del 58,94%.
- Personas no binarias con una edad promedio de 41 años tendrán una probabilidad de aceptación del 31,90%.

A partir de la determinación de estas probabilidades, en la Tabla 14 se computa las siguientes probabilidades condicionales en función del nivel educativo alcanzado.

Tabla 14

Estimación de la probabilidad de uso de criptomonedas según género y nivel educativo.

Máximo nivel educativo alcanzado	Acepta		
	Hombre	Mujer	No Binario
Superior completo y más	57,81%	58,76%	22,22%
Secundario Completo - Superior Incompleto	58,57%	58,49%	26,67%
Primario Completo - Secundario Incompleto	58,14%	58,16%	25,00%
Primario Incompleto	58,17%	58,59%	28,57%
Promedio	58,17%	58,50%	25,62%

Nota. Elaboración propia.

Los datos indican que, en el caso de los hombres, hay una mayor propensión hacia el uso de criptomonedas en el segmento con menor nivel educativo, donde se registra un 58,17%. Esta cifra es comparable a la del grupo más educado, que muestra un 57,81%, lo que sugiere que la educación no es un factor determinante en la adopción de criptomonedas entre esta población masculina.

Por el contrario, en el caso de las mujeres, se manifiesta una tendencia inversa: aquellas que poseen mayores credenciales educativas reportan una mayor probabilidad de utilizar criptomonedas con fines transaccionales. Sin embargo, al igual que en el grupo masculino, no se observa una brecha significativa entre las mujeres con menor y mayor instrucción, lo que indica una cierta homogeneidad en la adopción.

En lo que respecta a las personas no binarias, se evidencia una menor probabilidad de aceptación de las criptomonedas independientemente del nivel educativo alcanzado. Sin embargo, se registra una notable diferencia entre el segmento con bajo logro educativo, que presenta un 28,57%, y el grupo con el mayor nivel educativo, que muestra una probabilidad de uso del 22,22%. Este hallazgo sugiere que, aunque la inclusión de las criptomonedas es limitada en este grupo, la educación podría tener un impacto en la propensión a adoptar estas tecnologías.

Por otra parte, el cómputo de la probabilidad de uso de criptomonedas condicionado al rango etario arroja los siguientes resultados:

Tabla 15

Estimación de probabilidad de uso de criptomonedas según género y rango etario.

Edades	Total	Hombre	Mujer	No Binario
18 a 25 años	56,59%	63,21%	61,32%	45,25%
25 a 30 años	54,38%	62,07%	61,00%	40,08%
30 a 35 años	54,02%	63,25%	59,78%	39,03%
35 a 40 años	49,80%	58,58%	58,94%	31,90%
Más de 40 Años	47,47%	56,25%	54,31%	31,86%
PROMEDIO	52,45%	60,67%	59,07%	37,62%

Nota. Elaboración propia.

A partir de la Tabla 15, se observa una mayor probabilidad de uso de criptomonedas con fines transaccionales entre los segmentos etarios más jóvenes, con una diferencia del 9,12% en comparación con el grupo de mayor edad. Esta tendencia se mantiene similar en hombres y mujeres, lo que sugiere que el público joven está más dispuesto a adoptar estas tecnologías. Este fenómeno puede atribuirse a una mayor familiaridad con las tecnologías digitales y una mejor adaptación a la terminología del universo de criptoactivos y las finanzas descentralizadas.

Un caso especial de análisis se presenta entre las personas no binarias, donde se revela que aquellos en el rango de 18 a 25 años tienen una probabilidad de uso del 45,25%. Sin embargo, esta cifra es 17,96% y 16,07% menor que la reportada para hombres y mujeres del mismo rango etario, respectivamente. En contraste, solo un 31,86% de aceptación se da en personas mayores de 40 años. Aunque la evidencia científica sobre este tema es escasa, es relevante considerar que varios servicios de billeteras virtuales no ofrecen la opción de género no binario en sus requerimientos de información. Esta limitación podría inhibir a este grupo poblacional de adoptar nuevas tecnologías, especialmente en el segmento de mayor edad.

Los resultados obtenidos son de suma importancia para la formulación de políticas públicas que busquen adaptar el ecosistema financiero local a la utilización de criptomonedas para transacciones económicas. Así, se puede delinear un mapa de acción que identifique fortalezas y debilidades en su implementación, priorizando ciertos segmentos etarios para impulsar su adopción y reforzando la educación financiera en otros grupos.

Además, el mayor control en las transacciones que fomenta la descentralización financiera, combinado con un marco legal y regulatorio adecuado, tiene el potencial de mejorar el perfil de recaudación fiscal del Estado Nacional, así como de reducir el nivel de evasión.

No obstante, a la luz de los resultados, persiste una considerable brecha entre el grado de bancarización, que se sitúa en un 82%, y la probabilidad media de uso de criptomonedas para fines transaccionales, que oscila entre el 31,90% y el 58,94%. Esto indica que, incluso con un adecuado esquema de implementación y regulación, será necesario realizar un esfuerzo adicional en la educación financiera de los agentes y contar con más tiempo para que se complete su curva de aprendizaje.

4.1.4 Pruebas de contraste

La validación de modelos requiere la realización de pruebas de contraste para validar las estimaciones obtenidas con el fin de dotar al modelo y al desarrollo de algoritmos de una contextualización exhaustiva de las variables involucradas. En este sentido, se deben considerar las siguientes pruebas de contraste:

T-Test: Realizado el contraste de significatividad sobre las variables explicativas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 16

Contraste de significatividad global

Type	Logit	Std. Error	T-Test
Hombre	1,7858	0,0854	20,9060
Mujer	1,5894	0,1316	12,0803
No Binario	1,3190	0,2963	4,4510

Nota. Elaboración propia.

A partir de las Tabla 16, se verifica que existe evidencia empírica suficiente para rechazar la hipótesis de no significatividad de los regresores, por lo que se concluye que el conjunto de variables contribuye a explicar la probabilidad del uso de criptomonedas con fines transaccionales.

Test Fisher-Snedecor: representa la distribución de probabilidad continua de una prueba estadística sobre el análisis de la varianza, donde:

$$F = \frac{\frac{R^2}{1 - R^2}}{n - (K + 1)}$$

Tabla 17

Test Fisher-Snedecor

<i>Test</i>	<i>Amount</i>
<i>R Pearson</i>	0,7543
<i>R adjustment</i>	0,7635
<i>Fisher Snedecor</i>	0,7629

Nota. Elaboración propia.

La prueba de Fisher-Snedecor expuesta en Tabla 17 arroja un valor de 76,29%, explicando la significatividad de la regresión respecto de la cantidad de parámetros empleados, manteniendo una correlación positiva entre las variables.

Test Durbin Watson: se emplea el contraste a los fines de determinar la existencia de autocorrelación entre los residuos.

$$DWT = 2 \times (1 - P) \times \left(1 - \frac{(Y_{estimated} - Y_{average})^2}{(Y - Y_{estimated})^2}\right)$$

Tabla 18

Test Durbin-Watson

<i>Test</i>	<i>DWT</i>
<i>Hombre (Intercept)</i>	0,7894
<i>Mujer</i>	0,6233
<i>No Binario</i>	0,7812

Nota. Elaboración propia.

El contraste expuesto en la Tabla 18 arroja evidencia de una autocorrelación negativa. El resultado de los residuos tiende a valores que afectan a la variable explicada, por lo que repercute de manera negativa en la autocorrelación de las variables independientes.

Dado que la encuesta fue realizada de manera transversal requiere de mayor experiencia en el tiempo para luego realizar un análisis de cambio estructural en los parámetros de la regresión a partir de una prueba de Chow.

4.1.5 Consideraciones finales Parte A

La implementación de modelos de inteligencia artificial explicable (XAI) ha revelado nuevos hallazgos sobre el uso de criptomonedas en nuestro país. Al desglosar el proceso de toma de decisiones del modelo, se identifican variables cruciales, como el rango etario y el nivel educativo, que sirven como base para delinear estrategias iniciales en la formulación de políticas públicas y privadas destinadas a masificar el uso y las potencialidades de las criptomonedas.

Además, la XAI facilita la detección y mitigación de posibles sesgos o discriminaciones, garantizando una mayor transparencia y equidad en los modelos predictivos, especialmente al incluir variables de naturaleza social en el análisis.

Los resultados obtenidos indican que la probabilidad media de aceptación de criptomonedas con fines transaccionales es del 58,58% para hombres, 58,94% para mujeres y del 31,90% para personas no binarias. Al segmentar por nivel educativo, se observa que los hombres con credenciales educativas más bajas muestran una mayor propensión hacia el uso de criptomonedas, lo que contrasta con las mujeres, quienes presentan una mayor inclinación a adoptar criptomonedas conforme aumentan sus niveles de educación, aunque las diferencias entre ambos grupos son mínimas. En el caso de las personas no binarias, se constata una mayor probabilidad de adopción en aquellos con menor nivel educativo, con una diferencia del 6,5% en comparación con sus contrapartes más instruidas.

En relación con el rango etario, se identifica una mayor adopción entre los segmentos más jóvenes, con una probabilidad de aceptación que ronda el 56,59%. Este porcentaje es mayor para hombres (61,32%) en comparación con mujeres (61,32%) y personas no binarias (45,25%). Con el aumento del rango etario, la probabilidad de adopción disminuye en aproximadamente un 15% en todos los grupos.

Estos hallazgos permiten esbozar el diseño de políticas públicas orientadas a la integración del dinero digital en el ecosistema financiero, destacando la proactividad del público más joven en su uso, al tiempo que se subraya la necesidad de atención hacia los segmentos de

mayor edad, que presentan una menor propensión a adoptar estas tecnologías. En este sentido, será fundamental consolidar esfuerzos que fortalezcan la curva de aprendizaje de los grupos más rezagados, así como establecer un marco operativo y regulatorio adecuado para coordinar acciones entre el sector público y privado.

Las futuras extensiones de este trabajo deberían incluir un análisis que contemple series de tiempo, evaluando la estructura de los parámetros de regresión y sus subregresiones en un modelo de XAI. Este enfoque proporcionará un aprendizaje más profundo al algoritmo, optimizando su capacidad predictiva y mejorando la validación de sus resultados.

4.2 Parte II: Propuesta de implementación de stablecoin

A partir del desarrollo de las redes neuronales se busca implementar modelos de predicción dotados de una mayor interpretabilidad y consistencia, a los que se suele condicionarlos por variables categóricas, en este caso, relacionadas a las finanzas descentralizadas. En este sentido, el presente apartado busca realizar un modelo sintético de análisis de eficiencia de un modelo de red neuronal a partir de la adopción de una tasa cupón sobre una obligación negociable de YPF S.A. sujeta a la cotización de una *stablecoin* que varíe en función al precio de commodities del mercado local y de subyacentes internacionales.

La potencialidad para ser utilizada como instrumento de inversión o financiación obliga a analizar el rol de las criptomonedas en el desarrollo del mercado de capitales local. En los últimos veinte años, el ratio del volumen operado con relación al PIB representa poco menos del 6%, hecho que se complementa con la masividad de instrumentos de renta fija (principalmente bonos públicos) en desmedro de la renta variable e instrumentos derivados. Paralelamente, existe una cantidad de cuentas comitentes que están concentradas en pocos agentes de liquidación y compensación, lo que redundaría en mayor costo en la transaccionalidad de valores negociables. A su vez, la falta de desarrollo no solo obedece a cuestiones de tamaño del mercado local o a los elevados aranceles en relación con los países desarrollados, sino a la inestabilidad macroeconómica junto con las restricciones al libre movimiento de capitales, condicionando las tasas de referencia en el mercado primario y secundario y creando un clima de alta volatilidad en el precio de los activos.

En este sentido, las criptomonedas pueden emplearse como una posible solución ante las dificultades de financiamiento del sector público y/o privado en las colocaciones de deuda

local o internacional, habida de la relevancia en la adopción de un instrumento innovador que ate el pago de cupones a una stablecoin correlacionada con commodities agrícolas, potenciando el rendimiento del instrumento en caso de una buena campaña. De manera análoga, la posibilidad de un bajo rinde en la cosecha puede provocar un alivio en las cuentas públicas o en la hoja de balance de las empresas, mitigando el requerimiento de los servicios de deuda y/o de capital de trabajo. En otras palabras, se genera un instrumento híbrido de financiamiento que permite provisionar el flujo de pagos de manera anticipada, dotando de cierto grado de maniobra a la política de financiamiento en virtud de una mejor planificación de los descargos futuros.

El objetivo general de este apartado es rediseñar la tasa cupón de la obligación negociable garantizada Clase XVI de Y.P.F. S.A. (Ticker: YMCHO) a partir de la cotización de una stablecoin. Para ello, se incluye el empleo de un modelo de redes neuronales que permita aproximar el valor de la tasa cupón a partir de una cesta de commodities y de la tasa interbancaria londinense (LIBOR). Además, se indagará si la aplicación de la tasa cupón rediseñada produce un efecto negativo o positivo para el inversor o emisor del valor negociable.

En particular, se busca contrastar si el uso de esa tasa cupón rediseñada proporciona un retorno superior al obtenido a partir de tasas fijas, en virtud de su mejor adaptación a las fluctuaciones del mercado financiero.

4.2.1 Entorno de la propuesta

Se emplea un modelo de red neuronal donde, a través de sub-regresiones logísticas entre las capas internas e interpolaciones entre los estimadores calculados, se llega a un modelo superador que permite recolectar el aprendizaje de regresiones pasadas y computar una regresión final que sea proclive a contrastar las hipótesis planteadas.

En base a ello se utilizarán las siguientes series históricas:

- Serie de precios correspondientes a la obligación negociable de tipo Step – Up de Y.P.F. S.A. con vencimiento en 2026 (Ticker: YMCHO), correspondiente al periodo comprendido desde febrero de 2021 a diciembre de 2022 y obtenida de Bolsas y Mercados Argentinos;
- Serie de precios de la soja, trigo y girasol, correspondiente al periodo enero de 2019 a diciembre de 2022 y obtenidas del Mercado de Rosario;

- Serie de precios del petróleo West de Texas Intermediate (WTI), correspondiente al periodo enero de 2019 a diciembre de 2022 y obtenida de New York Mercantile Exchange (Nymex);
- Serie de la tasa London Interbank Offered Rate (LIBOR), correspondiente al periodo enero de 2019 a diciembre de 2022 y obtenida del Banco Central de la República Argentina.

La propuesta metodológica se centra en la modelización para estimar la tasa cupón de la obligación negociable de Y.P.F. S.A. Esta tasa estará vinculada a la rentabilidad de una stablecoin denominada Argentum, la cual fluctúa en función de los commodities previamente mencionados y de la tasa interbancaria londinense (LIBOR). Además, se establecerán un piso mínimo del 4,5% y un techo del 12%, ambas tasas expresadas en términos nominales anuales. La inclusión de múltiples subyacentes tiene como objetivo crear un mercado secundario para la obligación negociable, lo que a su vez aumentará el atractivo para sus tenedores al proporcionar una mayor diversificación del riesgo.

A partir de esta estructura, se presentará el sendero temporal de la tasa cupón resultante en comparación con la tasa original. Este análisis permitirá evaluar si el instrumento modificado genera una mayor cobertura para el inversor en escenarios de estrés financiero o, en cambio, conduce a retornos inferiores a los esperados.

El análisis cuantitativo se realizará mediante R y Rstudio, a partir de los paquetes:

- Tidyverse (Wickham & Grolemund, 2017)
- ReadXL
- Neuralnet (Wright, 2022)
- NeuralnetTools (Beck, 2020)
- caTools (Rokach & Maimon, 2008)
- Ggplot2

Los modelos de predicción basados en redes neuronales constituyen una categoría de aprendizaje automático que emula el funcionamiento del cerebro humano para realizar proyecciones. Estos modelos emplean algoritmos diseñados para procesar grandes volúmenes de datos y detectar patrones complejos, permitiendo así generar predicciones precisas sobre eventos futuros.

En su estructura, las redes neuronales comprenden capas de nodos interconectados, donde se lleva a cabo un proceso de tres etapas: la recepción de datos mediante una capa de entrada, el procesamiento de estos datos a través de capas ocultas, y la predicción de resultados en la capa de salida. Durante este procedimiento, la red se somete a un entrenamiento en el que se ajustan los pesos de las conexiones entre los nodos con el objetivo de minimizar el error de estimación (Russell, 2018).

En el contexto de las criptomonedas, la literatura existente es limitada, aunque la evidencia sugiere que las redes neuronales se han utilizado para estimar la tasa de retorno de criptomonedas basándose en series históricas, volumen transaccional, tipos de cambio y retornos de activos de renta variable o commodities, como el oro (Blockchain, bitcoin y criptomonedas, 2018).

Relativo a las obligaciones negociables, Hull (2009) propone un modelo que estima una tasa variable a pagar en los cupones de deuda, ajustándola según la probabilidad de que otro activo subyacente relacionado experimente alzas o caídas, manteniendo un umbral mínimo de rentabilidad para el inversor. En este sentido, un modelo de predicción basado en redes neuronales puede utilizarse para estimar la tasa de retorno de un instrumento, facilitando así la previsión de fluctuaciones de precios y la elaboración de estrategias de cobertura o rotación de portafolios.

Asimismo, la modelización mediante redes neuronales podría incorporar un mecanismo de stop-loss para los inversores, utilizando datos históricos para aprender de perspectivas bajistas y facilitar nuevos posicionamientos en el portafolio. Paralelamente, se podría implementar un sistema de bandas sobre el servicio de renta, asegurando un piso mínimo de rentabilidad para los inversores y evitando pagos superiores a los esperados por el deudor.

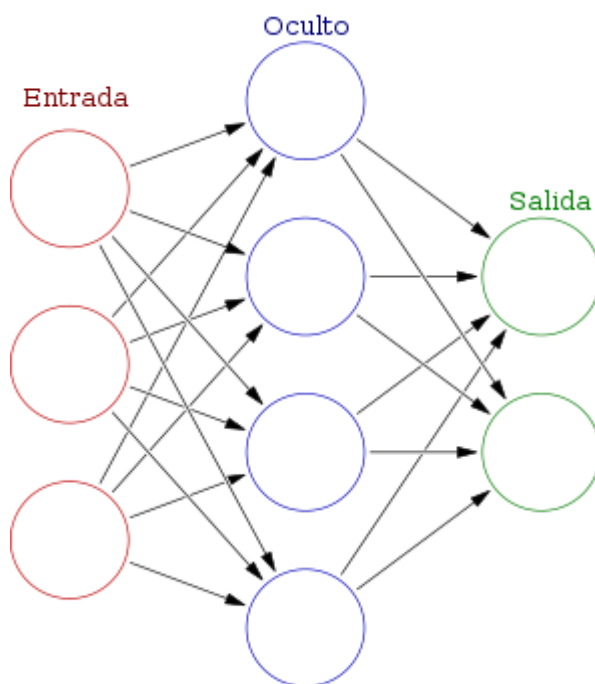
En resumen, los modelos de predicción a través de redes neuronales emergen como herramientas versátiles en diversas aplicaciones económicas y financieras. En particular, en el ámbito de los servicios de renta relacionados con obligaciones negociables, estos modelos pueden jugar un papel crucial en la toma de decisiones sobre el lanzamiento de prospectos, la gestión del riesgo y la maximización de la rentabilidad.

Red Neuronal

Una red neuronal artificial (RNA o ANR, por sus siglas en inglés) es un modelo computacional inspirado en la estructura y función del cerebro humano. Las redes neuronales consisten en capas de nodos interconectados los cuales, a partir de una capa de entrada que recibe los datos, una o más capas ocultas que realizan diversos procedimientos algebraicos y una capa de salida que produce la predicción final, generan un proceso de entrenamiento donde se ajustan los pesos de las conexiones intra-nodos con el objetivo de minimizar el error de predicción.

Figura 13

Composición de una red neuronal artificial de 2 capas



Nota. Elaboración propia.

Proceso de conformación de una red neuronal

1. **Entrada (*Input Layer*):** La red neuronal toma datos de entrada, los cuales agrupa en conjuntos a los efectos de realizar sub-regresiones e interpolar los estimadores entre sí.
2. **Procesamiento (*Hidden Layers*):** A partir de los datos de entrada, se generan nuevas sub-regresiones a través de las capas ocultas, donde cada neurona es una combinación lineal de las entradas ponderadas por el peso de sus variables. Posteriormente, se aplica una función de activación a esta combinación lineal para

introducir no linealidades en el modelo, permitiendo que la red aprenda patrones complejos.

3. **Salida (*Output Layer*):** La información procesada se propaga a la capa de salida, que produce la predicción o resultado final. La cantidad de neuronas en la capa de salida depende del tipo de problema (clasificación, regresión, entre otros).
4. **Aprendizaje (*Backpropagation*):** La red ajusta sus pesos durante el entrenamiento mediante un proceso llamado “retropropagación” (*backpropagation*). Se compara la salida estimada con la salida deseada y se calcula un error. Luego, éste se propaga en sentido inverso (hacia atrás) a través de la red, ajustando los pesos y minimizando el error medio mediante técnicas de optimización tales como el descenso del gradiente.

La relación entre las redes neuronales artificiales y las regresiones logísticas se puede entender considerando que esta última es un tipo específico de red neuronal con una sola capa. En este caso, la función de activación es la función logística (también denominada sigmoide) y la red se utiliza principalmente para problemas de clasificación binaria.

A medida que se aumenta la complejidad y se agregan capas ocultas, la red neuronal generaliza mejor y es capaz de manejar problemas más complejos, incluyendo clasificación multiclase y tareas de regresión. Los árboles de decisión son claves en el desarrollo de los nodos entre las neuronas, puesto que al realizar las sub-regresiones de cada modelo interno entre las capas de entrada y ocultas, permite la toma de decisión en forma binaria de manera automática y óptima.

Dentro del ámbito de redes neuronales, cada árbol de decisión simplifica de manera binaria las trayectorias que un algoritmo debe seguir. Corolario a los modelos bayesianos, estos consolidan la ruta de cada variable, ajustando cada paso de manera matemática hasta alcanzar la conclusión en su capa.

4.2.2 Muestra

Se parte del cómputo de la serie histórica de precios de la soja, trigo y girasol, obtenida de la Bolsa de Rosario, así como de la serie del Petróleo WTI a partir de la Bolsa de Materias Primas de Nueva York (Nymex), y de la serie de la tasa LIBOR extraída de las estadísticas

monetarias y financieras del Banco Central de la República Argentina (B.C.R.A.). Todas estas series abarcan el período comprendido entre enero de 2019 y diciembre de 2022.

En una segunda instancia, se analiza la serie histórica de rendimientos de la obligación negociable de YPF con vencimiento en 2026 (YMCHO), que se recoge desde el 12 de febrero de 2021 hasta el 31 de diciembre de 2022 inclusive, junto con la caracterización de su prospecto en la Tabla 20. Esta información es esencial para construir un marco analítico robusto que permita evaluar la relación entre los precios de los commodities y la tasa de rendimiento de la obligación negociable en cuestión.

Tabla 19

Prospecto ON YMCHO YPF S.A.

Sociedad:	YPF S.A.
Nombre:	YPF - GARANTIZADAS CLASE XVI
Ticker	YMCHO
Tipo:	Obligación Negociable
Tasa:	Step-Up
Inicio:	12/2/2021
Vencimiento:	12/2/2026
Valor tasa:	4% desde la Fecha de Emisión y Liquidación hasta e incluyendo el 31 de diciembre de 2022 y posteriormente devengarán intereses a una tasa fija de 9,000% nominal anual hasta la Fecha de Vencimiento de las Obligaciones Negociables Clase XVI.

Nota. *Bolsas y Mercados Argentinos (BYMA).*

Posteriormente, se expone en la Tabla 12 el modelo de prospecto de la obligación negociable YMCHO Clase I DUAL, cuyo servicio de renta está vinculado a la variación de la stablecoin Argentum, una criptomoneda conceptual desarrollada en el marco de esta tesis como

propuesta teórica de activo digital referenciado a variables relevantes para el contexto argentino.

Tabla 20

Prospecto ON YMCHO YPF S.A. - DUAL

Sociedad:	YPF S.A.
Nombre:	YPF - GARANTIZADAS CLASE I DUAL
Ticker	YMCHO - Dual
Tipo:	Obligación Negociable
Tasa:	Dual - Tasa variable
Inicio:	12/2/2021
Vencimiento:	12/2/2026
Valor tasa:	Devengará una tasa nominal anual hasta la fecha de vencimiento de las obligaciones negociables Clase I DUAL equivalente a la variación de la criptomoneda Argentum con las siguientes bandas: banda inferior 4,5% y máxima 12%. A los efectos del cálculo, se tomará el valor publicado 10 días hábiles antes del vencimiento de cada servicio de renta.

Nota. Elaboración propia.

Figura 14

Logo propuesto criptomoneda Argentum



Nota. Elaboración propia.

La autoridad encargada de la emisión, administración y supervisión de la stablecoin será el Banco Central de la República Argentina (B.C.R.A), el cual tendrá como responsabilidad

evitar fluctuaciones que puedan afectar severamente su valor. Para lograrlo, la entidad podrá establecer rangos de tolerancia que le permitan implementar estrategias de stop loss o take profit, con el objetivo de mantener la paridad con el dólar y alinearse con la moneda de pago original de la obligación negociable.

Con miras a alcanzar este objetivo, la autoridad monetaria utilizará instrumentos derivados, como futuros de soja, petróleo, y girasol, entre otros. Esto permitirá sostener la cotización de la stablecoin y fomentar su uso como medio de pago para cupones y amortizaciones de deuda, sin comprometer las reservas internacionales.

La stablecoin propuesta se fundamentará en una composición de subyacentes provenientes tanto de la economía real como de la financiera. En lo que respecta a la primera, se incluirán commodities que presentan una alta correlación con el ciclo económico, tales como soja, trigo y girasol, ponderados según el comportamiento de las campañas de cosecha fina y gruesa durante el período de 2019 a 2022. En relación con la economía financiera, se incorpora la tasa LIBOR como un proxy del rendimiento mínimo esperado por los inversores en el mercado internacional, además del precio del petróleo, que está directamente relacionado con las operaciones de la firma.

Tabla 21

Composición de subyacentes de la Stablecoin

<i>Subyacente</i>	<i>% Part.</i>
<i>SOJA</i>	50%
<i>TRIGO</i>	25%
<i>GIRASOL</i>	10%
<i>PETRÓLEO</i>	10%
<i>LIBOR</i>	5%
<i>TOTAL</i>	<i>100%</i>

Nota. Elaboración propia

4.2.3 Estimación y resultados

Una vez completados estos pasos, se procedió a ejecutar el algoritmo de redes neuronales en RStudio, utilizando los paquetes Neuralnet y Neuralnetools. En esta fase, se realizó la parametrización de las variables para el algoritmo que será entrenado.

Para ello, se seleccionó una muestra de las series descritas para el período mencionado, empleando el 70% de los datos para el entrenamiento con el fin de maximizar el grado de experiencia acumulada, mientras que se reservó el 30% restante para pronósticos. Este enfoque permite llevar a cabo una evaluación efectiva del proceso de entrenamiento, utilizando los datos extraídos de la muestra.

A continuación, en la Tabla 22 se resume los betas calculados para cada submodelo de entrada, en función de la fecha de cada iteración. Esta tabla incluye los valores de cada subregresión lineal, así como los índices pertinentes de cada variable independiente, lo que proporciona una base sólida para el análisis posterior de los resultados generados por el modelo.

Tabla 22

Estimación de submodelos

Head Dataset

FECHA	INDICE_PETROL EO	INDICE_SOJA	INDICE_TRIGO	INDICE_GIRASOL	INDICE_YMCHO	INDICE_LIBOR
3/10/2022	-0,019005	0,283165	0,172384	0,039677	-0,027803	0,036583
4/10/2022	0,317064	0,280086	0,169305	0,039369	-0,027477	0,034783
5/10/2022	-0,002784	0,278873	0,168092	0,039248	-0,026187	0,028783
6/10/2022	-0,002875	-0,102315	0,005845	-0,003423	0,001944	0,026983
7/10/2022	0,032097	-0,074013	-0,028564	-0,002975	0,000515	0,020983
10/10/2022	0,024398	-0,343360	0,202733	-0,041816	-0,003283	0,019183
11/10/2022	0,333157	0,276825	0,166043	0,039043	-0,026187	0,029283
12/10/2022	0,321380	0,251264	0,161075	0,038546	-0,028129	0,027483

Nota. Elaboración propia con salida de R.

Cada índice ha sido calculado a partir de las sub-regresiones del modelo de manera interna, a los fines de retroalimentar la regresión logística del modelo general y compactar las capas anidadas. Una vez determinado los índices, se ejecuta la matriz de la red neuronal, aplicando hasta 5 elementos de entrada, 5 capas ocultas y un máximo de 100.000.000 de pasos, a partir de regresiones logísticas en cada sub-modelo para luego interpolar en una regresión final.

En base a la codificación expuesta, el output resultante se expone en la Tabla 23.

Tabla 23*Regresión logística*

OUTPUT	OUTPUT	VALUES
error	FINAL MODEL	0.053474025
reached.threshold	FINAL MODEL	0.008433788
steps	FINAL MODEL	100.000.000
HIDE 1	B 1	-0.683147519
HIDE 1	I1	-0.516194953
HIDE 1	I2	0.444362735
HIDE 1	I3	0.222652213
HIDE 1	I4	0.763762271
HIDE 1	I5	0.410907205
HIDE 2	B 1	-0.532293914
HIDE 2	I1	-0.353300087
HIDE 2	I2	0.614641934
HIDE 2	I3	-0.026232739
HIDE 2	I4	0.288124054
HIDE 2	I5	0.447334178
HIDE 3	B 1	0.903112930
HIDE 3	I1	0.333228818
HIDE 3	I2	-0.129922445
HIDE 3	I3	-0.629453110
HIDE 3	I4	-1.025.724.168
HIDE 3	I5	-0.435776935
HIDE 4	B 1	1.375.043.756
HIDE 4	I1	0.609419966
HIDE 4	I2	-0.554189757
HIDE 4	I3	-0.150555101
HIDE 4	I4	-0.726650599
HIDE 4	I5	-0.092565974
HIDE 5	B 1	-2.066.731.074
HIDE 5	I1	0.283940169
HIDE 5	I2	-0.217020091
HIDE 5	I3	1.441.804.961
HIDE 5	I4	1.341.790.436
HIDE 5	I5	0.279230240
FINAL_MODEL	B 1	0.623211631
FINAL_MODEL	I1	-0.739845022
FINAL_MODEL	I2	0.271978168
FINAL_MODEL	I3	-0.467286052
FINAL_MODEL	I4	-0.163055924
FINAL_MODEL	I5	-0.122860543

Nota. Elaboración propia con salida de R.

La red neuronal ha ejecutado hasta 100.000.000 pasos, dada la magnitud de combinaciones a realizar. De la tabla expuesta anteriormente, se obtienen los siguientes elementos:

- B: Ordenada al origen de cada sub-regresión y de la regresión final.
- I1: Índice de Rentabilidad de Petróleo WTI de cada sub-regresión y de la regresión final.
- I2: Índice de Rentabilidad de Soja de cada sub-regresión y de la regresión final.
- I3: Índice de Rentabilidad del Trigo de cada sub-regresión y de la regresión final.

- I4: Índice de Rentabilidad del Girasol de cada sub-regresión y de la regresión final.
- I5: Índice de Rentabilidad de la Tasa Libor de cada sub-regresión y de la regresión final.

El error del modelo general se encuentra dentro del 5,3474%, por lo que el factor de precisión se encuentra cercano al 95%. El modelo logístico se presenta en la Tabla 24.

Tabla 24

Modelo logístico final

<i>BETA</i>	<i>NAME</i>	<i>OUTPUT</i>	<i>ERROR</i>
<i>B1</i>	INTERCEPT	0,62321163**	0,00226772
<i>I1</i>	PETRÓLEO	-0,7398450**	0,11964778
<i>I2</i>	SOJA	0,27197817**	0,02914756
<i>I3</i>	TRIGO	-0,4672860**	0,09526936
<i>I4</i>	GIRASOL	-0,1630559**	0,06805819
<i>I5</i>	LIBOR	-0,1228605**	0,06446301

(**) p -value < 0.05

Nota. Elaboración propia con salida de R.

Para llevar a cabo la contrastación del modelo, se analiza la probabilidad de ocurrencia, lo que permitirá determinar si el modelo está generando resultados positivos en términos de aceptación. En este sentido, se busca estimar la probabilidad de que el modelo prediga la tasa cupón de la obligación negociable de Y.P.F. S.A., condicionada por las fluctuaciones de la stablecoin compuesta por los subyacentes previamente mencionados.

Para evaluar su aplicabilidad, es fundamental verificar si su grado de probabilidad de éxito se encuentra dentro de los parámetros deseados. A través de una función sigmoide, que representa curvas de aprendizaje, se puede comprimir la salida a un rango entre 0 y 1, indicando así la probabilidad estimada de que una observación pertenezca a una clase específica.

En este caso, se realizó la contrastación a partir de la evolución del precio de YMCHO y de los subyacentes involucrados durante el período comprendido entre octubre y noviembre de 2022. Este análisis permitirá establecer la efectividad del modelo en la predicción de la tasa

cupón, al tiempo que proporcionará información valiosa sobre su rendimiento en condiciones de mercado reales.

Tabla 25

Índices de capa interna

Variables	Índices Capa Interna 30/11/2022
PETRÓLEO	-0.68670%
SOJA	3.07281%
TRIGO	2.75493%
GIRASOL	-0.65525%
LIBOR	0.61060%

Nota. Elaboración propia con salida de R.

Los índices de la Capa Interna observados en Tabla 25, con fecha 30/11/2022, se establecen a partir de los submodelos lineales que componen las capas de entrada, basándose en la experiencia acumulada de los períodos previos a la fecha de corte. Estas capas ocultas, situadas entre la capa de entrada y la capa de salida de la red neuronal, son elementos críticos que determinan el procesamiento de la información y la extracción de características dentro del modelo. Su correcta configuración y ajuste son fundamentales para la arquitectura de la red, así como para una comprensión profunda durante los procesos de modelado y entrenamiento.

Con base en las estimaciones derivadas de la capa interna, es viable pronosticar el retorno mensual de la obligación negociable. Al considerar una formalización lineal, se obtiene que:

$$Y \text{ (estimated)} = 0.06231 + (-0.073985) \times (-0.68670\%) + 0.027198 \times (3.07281\%) + (-0.046729) \times (2.75493\%) + (-0.016306) \times (-0.65525\%) + (-0.012286) \times (0.61060\%) = \mathbf{0.06241}$$

La estimación arroja un rendimiento mensual del 6,241%, el cual no diverge en demasía del valor observado para YMCHO durante el periodo analizado.

Tabla 26

Índices de capa interna

ACTIVO	31/10/2022	30/11/2022	VARIACIÓN MENSUAL
YMCHO	80,6	85,5	6,08%

Nota. *Bolsas y Mercados Argentinos (BYMA)*.

De esta manera, la discrepancia arroja un valor de 0.161% mensual y un error relativo de pronóstico 2,65%. Por otra parte, al computar la estimación probabilística, se obtiene que:

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-(B_0 + B_1 \times X_1 + B_2 \times X_2 + B_3 \times X_3 + B_4 \times X_4 + B_5 \times X_5)}}$$

$$P(x) = \frac{1}{1 + e^{-(0.06241)}} = 0.5156$$

En otras palabras, existe una probabilidad del 51,56% de que el modelo pronostique adecuadamente la tasa cupón de la obligación negociable YMCHO, basándose en la variación del precio de los commodities y la tasa LIBOR. En resumen, se puede concluir que el modelo requiere una cantidad elevada de pasos de experiencia, distribuidos de manera uniforme a lo largo del tiempo, para asegurar una buena aceptación y un bajo margen de error, lo que permitirá alcanzar resultados más robustos.

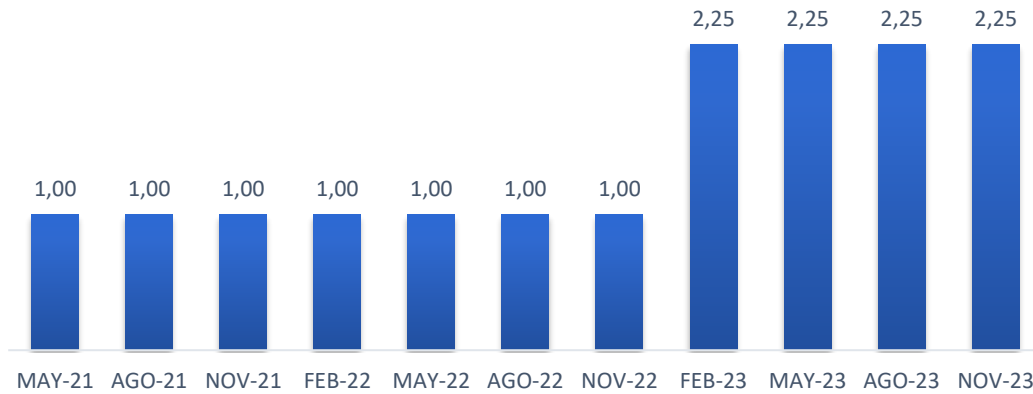
Además, los modelos de redes neuronales aplicados en el ámbito económico demandan la evaluación de su grado de error, siendo esencial mantener un margen de tolerancia ante la variabilidad. Esta necesidad surge debido a que factores temporales y posibles desviaciones externas pueden influir notablemente en la probabilidad de aceptación o rechazo en las predicciones relacionadas con los insumos del modelo.

En este contexto, es imperativo establecer parámetros que funcionen como límites de pérdida (stop loss) para mitigar impactos negativos en el precio de las obligaciones negociables. Asimismo, deben implementarse límites de ganancia (take profit) para asegurar que el acreedor no pague un cupón que comprometa su real capacidad de pago. De esta manera, se busca crear un marco predictivo que no solo optimice los resultados, sino que también salvaguarde la estabilidad financiera de los involucrados.

En pos de analizar esta cuestión, se reporta el cash flow de YMCHO para el periodo 2021-2023:

Figura 15

Flujo de cupones YMCHO



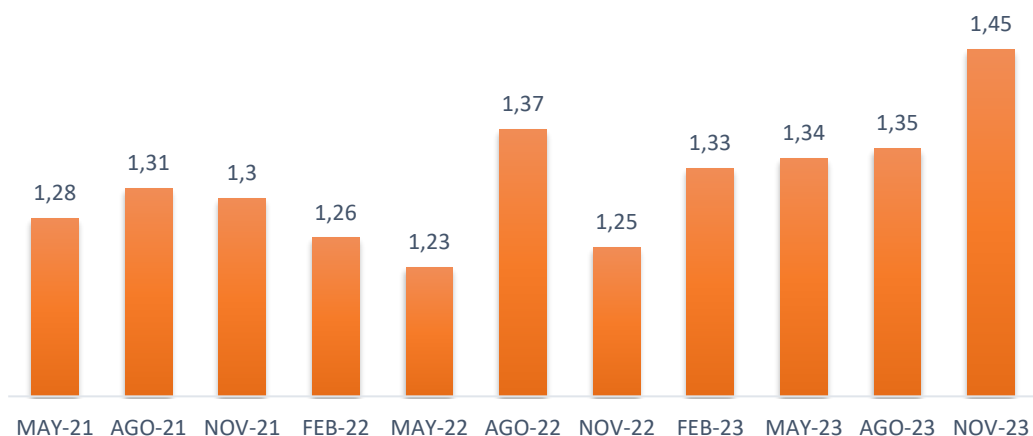
Nota. *Bolsas y Mercados Argentinos (BYMA)*.

El valor del cupón por cada 100 nominales de YMCHO varía de USD 1,00 para cupones vencidos hasta diciembre del año 2022 a USD 2,25 para aquellos que venzan a continuación. Al 04 de febrero de 2024 se encuentran en circulación un total de 716.124.622 de nominales, por lo que la suma abonada desde su emisión a la fecha en concepto de cupones asciende a USD 114.579.939,52.

Asimismo, al realizar la ejecución del modelo, aplicando la variación de la cotización de la criptomoneda, resulta el siguiente resultado del pago de la rentabilidad de YMCHO Dual respecto del YMCHO original:

Figura 16

Flujo de cupones YMCHO DUAL



Nota. Elaboración propia en base a *Refinitiv* (2024).

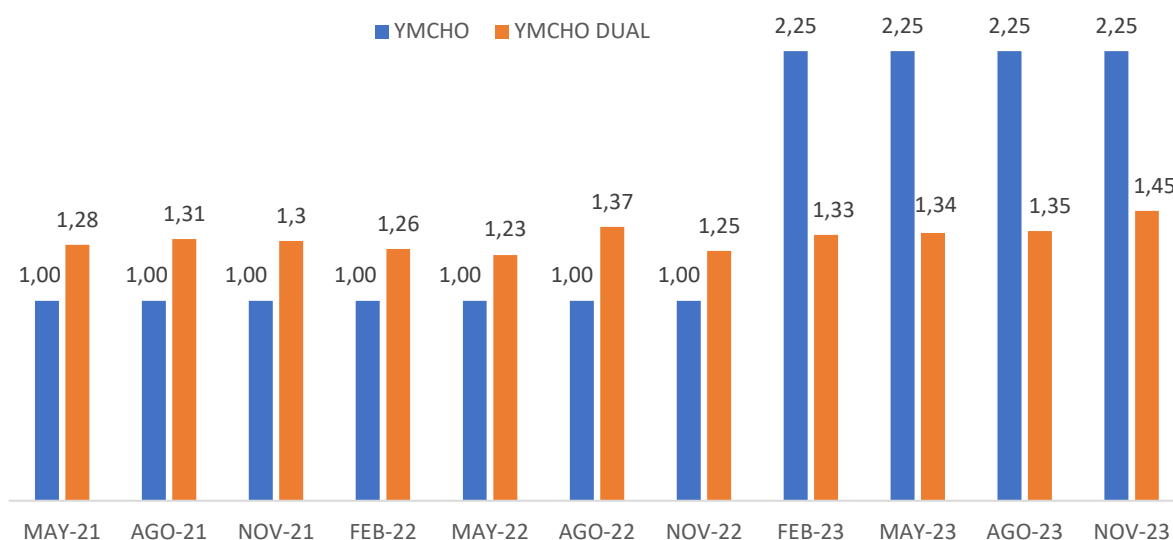
El pago trimestral de cupón por cada 100 nominales de YMCHO DUAL resulta evidentemente variable tomando la naturaleza de su prospecto. Realizando la proyección del

cash flow de la ON modificada, y tomando en consideración su desagregación interna de subyacentes junto con la misma cantidad de nominales que en el caso anterior, se abonaría un total de USD 103.623.232,80. Esta cifra implica un ahorro de USD 10.956.706,72 desde su fecha de emisión, lo que representa el 0,7% de su flujo de caja informado en el tercer trimestre de 2023 y una reducción de su deuda del 0,1% para el mismo plazo.

En términos comparados, desde su emisión, YMCHO DUAL reportó una mayor cuantía de cupón hasta fines del año 2022, mientras que para los cupones con vencimiento posterior se verifica un mayor servicio de renta de la ON original, tal como se observa en el siguiente gráfico:

Figura 17

Flujo de cupones comparados YMCHO e YMCHO DUAL



Nota. Elaboración propia en base a *Refinitiv* (2024)

La rentabilidad variable producto de la evolución de la cesta de commodities y de la tasa interbancaria de Londres ha permitido una estabilidad en torno al cupón a cobrar por parte del inversor y en línea con los prospectos de deuda de empresas en jurisdicciones calificadas como investment grade.

La emisión de prospectos de deuda de empresas en países con alto riesgo soberano obliga a ofrecer servicios de renta elevados o de tipo step-up. En este último caso, las tasas cupón para los primeros periodos resultan reducidas, por lo que la retención en la cartera de los

inversores será posible si el reperfilamiento de deuda optimiza la capacidad de repago del deudor.

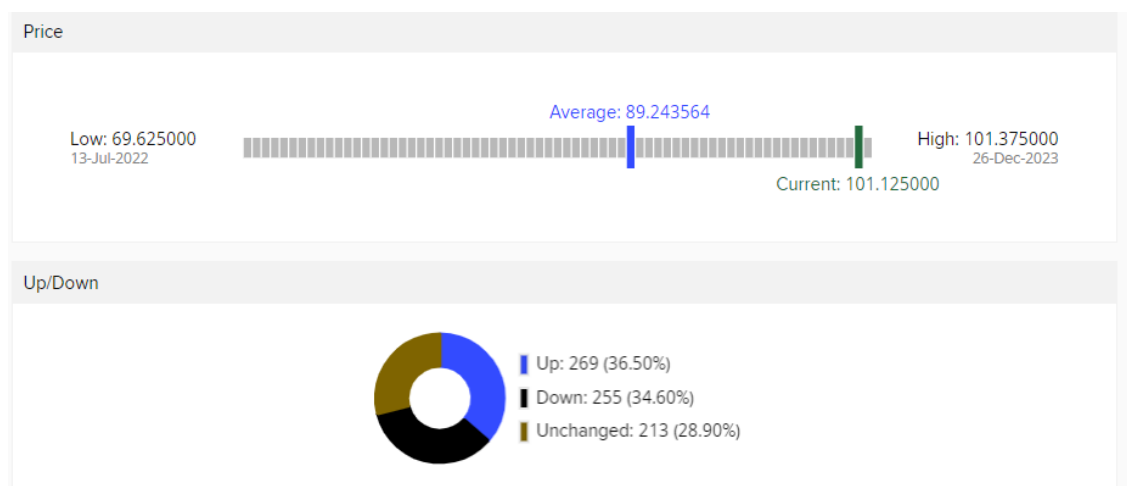
En línea con lo expuesto, la ganancia sobre un instrumento de renta fija puede obtenerse a partir de dos fuentes que se retroalimentan: el pago de cupones periódicos y la variación de precio del valor negociable. En este sentido, la volatilidad en su cotización repercute en las colocaciones futuras y por ende en la tasa implícita del mercado primario y secundario de deuda. Así, el incentivo a captar fondos se traslada a la tasa cupón, toda vez que ésta debe ser lo suficientemente grande para incentivar la captación de fondos.

En efecto, desde su colocación en mercado primario hasta el 31/10/2022, la rentabilidad sobre el precio de mercado alcanzó sólo el 0,75% en dólares, evidenciando un mercado con poco apetito por el riesgo corporativo y soberano argentino a lo que se suma un cupón retrasado en términos de cuantía nominal. En tanto, para los cupones a vencer desde 2023 y a consecuencia de la suba en el precio de petróleo y cierta tendencia dolarizadora en la cartera de los agentes, se evidenció una ganancia del 18,76%, en línea con la suba de precios de los activos argentinos a fines del 2023.

Durante el periodo 2021-2023, el precio de la ON tuvo su valor más bajo el 13 de julio de 2022 alcanzado los USD 69,62 y su valor máximo el 26 de diciembre de 2023 al tocar los USD 101,37. Dentro de ese intervalo, el 36,5% de las veces se observaron movimientos alcistas en su cotización, un 34,6% se verificaron movimientos bajistas mientras que el 28,9% de las veces el activo estuvo sin cambios.

Figura 18

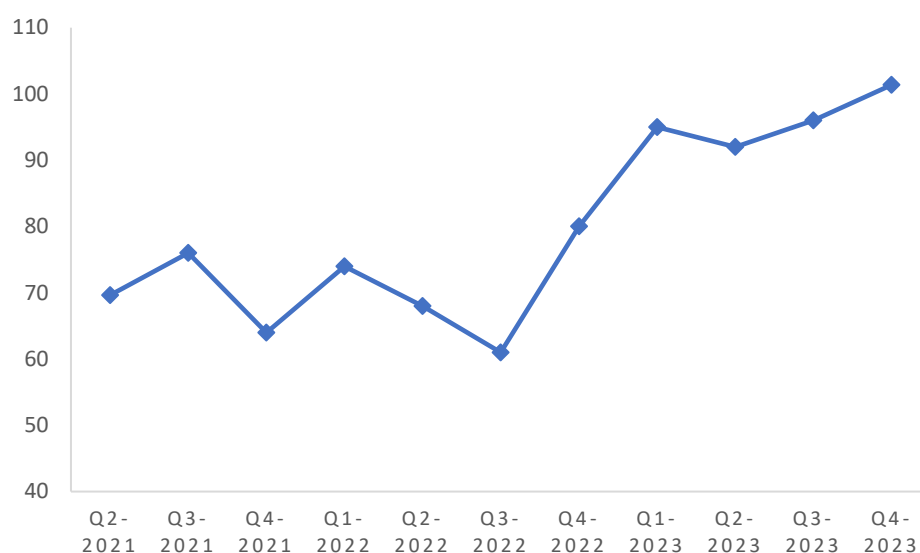
Movimientos en la cotización de YMCHO durante 2021 a 2023.



Nota. *Refinitiv* (2024).

Figura 19

Cotización YMCHO en USD



Nota. Elaboración propia en base a *Refinitiv* (2024).

Como se denota, el rezago en la tasa cupón sumado a las condiciones macroeconómicas locales le imprimió fuerte volatilidad al instrumento. En este sentido, los inversores que incorporan en su cartera a YMCHO por el pago de cupón pueden tender a vender el instrumento ante la falta de competitividad de la tasa. Sumado a ello, la fuerte prominencia del riesgo corporativo y soberano pueden provocar la captación de nominales por parte de fondos de alto riesgo, adicionando mayor variabilidad en su cotización.

Incidencia de la propuesta

La implementación de una obligación negociable que ajuste la tasa cupón conforme fluctúan los subyacentes de la stablecoin permitirá dotar al instrumento de un mayor atractivo para los tenedores. Al asegurar un piso mínimo y un techo de rentabilidad, la formación de expectativas sobre la rotación de carteras tendrá mayor previsibilidad, contribuyendo a estabilizar la volatilidad implícita y a evitar desprendimientos de tenencias que produzcan un desplome del precio.

La propuesta de una ON estructurada con un cupón ajustable al ciclo económico encuentra su justificación más fuerte en la experiencia reciente de YPF, especialmente entre febrero de 2021 y noviembre de 2023. En este período, la empresa atravesó tanto fases de crecimiento como de contracción económica, en un contexto nacional de fuerte volatilidad del producto y de los precios internacionales. La idea de adaptar el costo financiero al ciclo permite preservar la liquidez operativa sin sacrificar acceso a crédito ni solvencia.

La ON YMCHO actualmente en circulación, emitida por un total de USD 300 millones, presenta un cupón fijo del 9% anual, lo que implica un pago constante de USD 27 millones por año en concepto de intereses. Para el período 2021–2023, esta estructura habría significado pagos acumulados por USD 76,41 millones. Si bien este diseño ofrece previsibilidad a los inversores, su rigidez puede convertirse en una fuente de presión financiera significativa en contextos recesivos, ya que los compromisos se mantienen inalterados incluso en años donde la empresa registra resultados negativos o enfrenta tensiones de liquidez.

En contraste, la propuesta de ON YMCHO DUAL incorpora un mecanismo de ajuste del cupón vinculado al valor de una stablecoin híbrida, compuesta por una canasta de commodities energéticos y la tasa LIBOR, con una banda de rendimiento entre 4,5% y 12%. Esta estructura busca reflejar de forma más directa la capacidad de generación de ingresos de la empresa, particularmente en sectores como el energético, donde los flujos de ingresos se encuentran fuertemente correlacionados con la evolución de los precios internacionales y la actividad económica global.

Durante 2021, la economía argentina creció un 10,4%, y la empresa registró un resultado de ejercicio positivo cercano a USD 190 millones, acompañado de un aumento en la liquidez. En ese entorno expansivo, la ON DUAL habría aplicado una tasa de cupón del 11,5%, implicando un pago de intereses superior al del bono fijo, pero plenamente consistente con la mayor disponibilidad de fondos y utilidades. En 2022, el crecimiento del PIB fue del 5% y el resultado de ejercicio se mantuvo positivo, aunque moderado, en torno a los USD 120 millones. El cupón estimado de la DUAL en ese año rondaría el 9,5%, reflejando el enfriamiento del ciclo pero manteniendo un pago acorde con la rentabilidad empresarial.

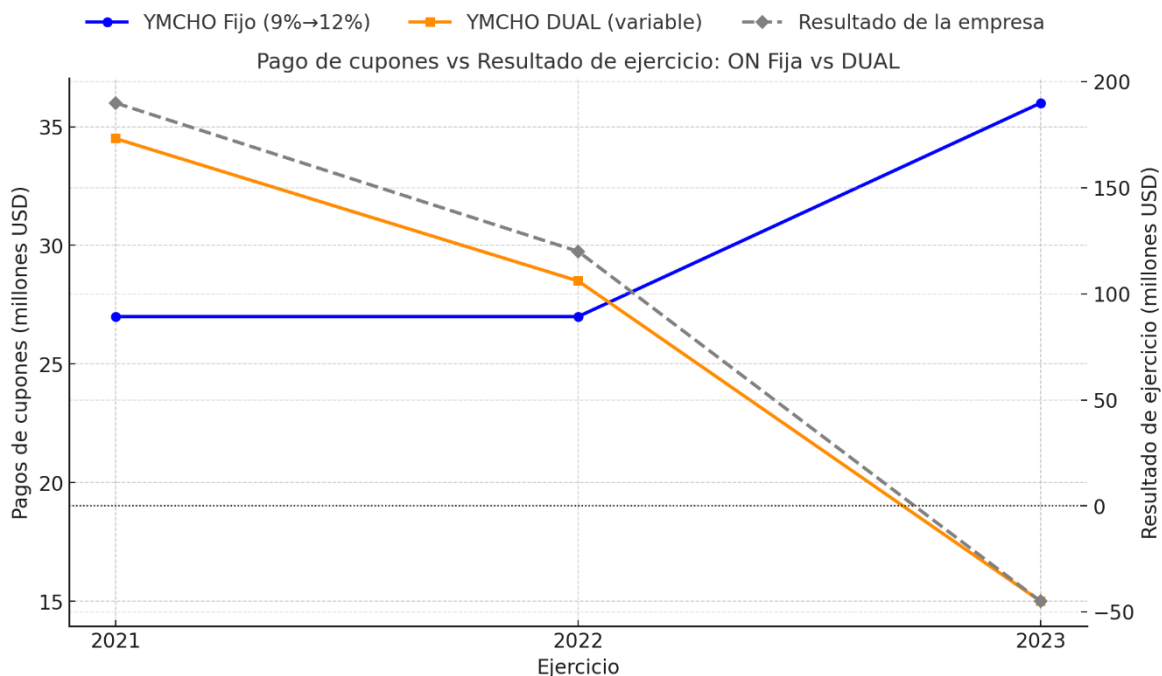
Sin embargo, en 2023 la economía volvió a entrar en recesión, con una contracción estimada del -1,6%, y la empresa registró un resultado de ejercicio negativo de aproximadamente USD -45 millones, junto a una significativa caída de su liquidez operativa. En este escenario

adverso, la ON DUAL habría ajustado su cupón hacia el extremo inferior del rango (entre 4,5% y 6,5%), lo cual se traduce en un pago de intereses sustancialmente menor al de la ON fija. Esta característica representa una ventaja clave del diseño dual, ya que permite reducir las exigencias financieras en los momentos de menor capacidad de repago, liberando recursos para preservar capital de trabajo o sostener inversiones estratégicas.

Tomando el período completo, la ON fija representa un pago total de USD 76,41 millones, mientras que la ON DUAL hubiera implicado un desembolso total de USD 65,51 millones. Esto representa un ahorro neto acumulado de USD 10,9 millones, distribuido de forma tal que el esfuerzo financiero se alinea con la capacidad real de generación de recursos de la empresa. A la luz de los resultados económicos y financieros observados en cada año, puede concluirse que la ON DUAL presenta una mayor adaptabilidad al ciclo y una mejor sincronización con el perfil de ingresos de la compañía, constituyendo una alternativa más eficiente en términos de sostenibilidad financiera y gestión de riesgos.

Figura 20

Comparación de pago de cupones YMCHO e YMCHO dual en relación al resultado del ejercicio de YPF S.A.



Nota. Elaboración propia en base a proyecciones de cupón fijo y variable, y resultados de ejercicio reportados por la empresa (2021–2023).

Este esquema no solo aporta flexibilidad financiera, sino que también introduce racionalidad económica en la forma de estructurar deuda corporativa. En vez de forzar a la empresa a pagar lo mismo en todo momento, el instrumento adapta los pagos al entorno, como si se tratara de un esquema de reparto de riesgo macroeconómico entre el emisor y los tenedores de deuda. Es una lógica más cercana al revenue-sharing que a la deuda tradicional.

El resultado de ejercicio de YPF en 2024 alcanzó los USD 2.393 millones, uno de los mejores desempeños en la historia reciente de la empresa. Aunque ese año queda fuera del período considerado para el ahorro, sirve como referencia de la sensibilidad de la empresa al ciclo. En un entorno expansivo como ese, el cupón ajustado hubiese tendido hacia el techo, lo que es coherente con una mayor capacidad contributiva sin afectar la sostenibilidad financiera.

Desde el punto de vista del inversor, la estructura DUAL también es atractiva: en años buenos ofrece rendimientos más altos y en años recesivos protege la integridad del emisor, reduciendo el riesgo de default. En mercados volátiles, donde la sostenibilidad de los pagos es tan importante como la rentabilidad, este tipo de instrumento puede generar mejor aceptación. Además, el vínculo con una stablecoin referenciada a activos internacionales y tasas externas permite evitar la exposición al riesgo cambiario local, reduciendo la necesidad de coberturas adicionales. El inversor sabe que la variabilidad del cupón no se debe a decisiones discrecionales del emisor, sino a una fórmula previamente establecida y basada en variables verificables.

Para una empresa integrada verticalmente como YPF, cuya rentabilidad está estrechamente atada a variables externas (precio del petróleo, demanda de exportaciones, tipo de cambio), esta fórmula de ajuste tiene lógica económica. Es un mecanismo que, además, se puede calibrar de forma tal que mantenga incentivos de cumplimiento y disciplina financiera sin generar rigideces innecesarias.

El análisis comparativo también demuestra que el costo total del financiamiento en la ON DUAL no es necesariamente menor que el de una ON fija, sino mejor distribuido en el tiempo. El sobre costo en años buenos se compensa con alivio en años recesivos. Esta redistribución suaviza el perfil de deuda sin afectar el retorno acumulado de los inversores en el largo plazo.

Para el mercado de capitales argentino, este tipo de innovación puede abrir nuevas alternativas de financiamiento más sostenibles. También puede servir como modelo replicable para otros emisores con perfiles similares: empresas de energía, agroindustria o

transporte, cuyos ingresos varían con el ciclo económico o con condiciones exógenas globales.

4.2.4 Pruebas de contraste

La imperativa validación de modelos requiere la realización de los contrastes necesarios para verificar la robustez de los resultados obtenidos.

T-Test: Realizado el contraste de significatividad sobre las variables explicativas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 27

Contraste de significatividad global

BETA	NAME	LOGIT	STD ERROR	T-TEST
B1	INTERCEPT	0,62321	0,00227	2,74818
I1	PETRÓLEO	-0,73985	0,11965	6,18352
I2	SOJA	0,27198	0,02915	9,33108
I3	TRIGO	-0,46729	0,09527	4,90489
I4	GIRASOL	-0,16306	0,06806	2,39583
I5	LIBOR	-0,12286	0,06446	1,90591

Nota. Elaboración propia.

A partir de la Tabla 27, se verifica que existe evidencia empírica suficiente para rechazar la hipótesis de no significatividad de los regresores.

Test Fisher-Snedecor: representa la distribución de probabilidad continua de una prueba estadística sobre el análisis de la varianza, donde:

$$F = \frac{R^2}{\frac{1 - R^2}{n - (k + 1)}}$$

Tabla 28

Test Fisher-Snedecor

TEST	LOGIT
R PEARSON	0,69370

R ADJUSTMENT	0,71350
FISHER	0,69048

Nota. Elaboración propia con salida de R.

La prueba de Fisher-Snedecor exhibida en la Tabla 28 arroja un valor de 69,37%, explicando la significatividad de la regresión respecto de la cantidad de parámetros empleados, manteniendo una correlación positiva entre las variables.

Test Durbin Watson: se emplea el contraste a los fines de determinar la existencia de autocorrelación entre los residuos.

$$DWT = 2 \times (1 - P) \times \left(1 - \frac{(Y_{estimated} - Y_{average})^2}{(Y - Y_{estimated})^2}\right)$$

Tabla 29

Test Durbin-Watson

NAME	DWT
PETRÓLEO	0,67450
SOJA	0,69330
TRIGO	0,67410
GIRASOL	0,69810
LIBOR	0,69940
GENERAL	0,68788

Nota. Elaboración propia con salida de R.

El contraste correspondiente a la Tabla 29 arroja evidencia de una autocorrelación negativa. El resultado de los residuos tiende a valores que afectan a la variable explicada, por lo que repercute de manera negativa en la autocorrelación de las variables independientes. Debemos considerar que factores externos que tengan un grado de autocorrelación implícita, tales como la guerra, factores climáticos, entre otros, pueden generar una mayor autocorrelación de las variables, por lo que resulta necesario de una mayor experiencia en el tiempo para luego realizar un análisis de cambio estructural en los parámetros de la regresión calculada.

4.2.5 Consideraciones finales Parte B

El uso de redes neuronales artificiales en el ámbito financiero ofrece tanto beneficios como desafíos. Entre los beneficios, estas redes tienen la capacidad de capturar patrones complejos y no lineales en conjuntos de datos financieros, lo que les confiere una mayor adaptabilidad ante las fluctuaciones de precios en las cotizaciones y las ponderaciones de las variables de control durante el entrenamiento, imprimiendo flexibilidad ante cambios de tendencias. Además, las RNA pueden procesar eficientemente grandes volúmenes de datos, lo cual es particularmente deseable en series de alta frecuencia.

Sin embargo, la aplicación de esta modelización presenta desafíos significativos, como el riesgo de sobreajuste. Cuando las RNA se ajustan demasiado a los datos de entrenamiento, su capacidad para generalizar en nuevos datos puede verse comprometida, lo que lleva a decisiones erróneas. Esta situación subraya la importancia de contar con datos de alta calidad y relevantes para obtener resultados precisos. Este fenómeno es precisamente la razón por la que estos modelos se consideran a menudo "cajas negras", lo que sugiere que el entendimiento del proceso y la toma de decisiones pueden ser complicados, requiriendo una metodología transparente, especialmente en la administración del perfil de financiamiento.

En este contexto, las redes neuronales pueden ser efectivas en el análisis de series de tiempo; sin embargo, es crucial considerar factores como la estacionalidad, la tendencia y posibles choques exógenos que puedan influir en la variable modelada. La implementación de un modelo de redes neuronales aplicado a la tasa cupón vinculada a una obligación negociable presenta múltiples ventajas y oportunidades en el ámbito financiero. Este enfoque innovador permite una diversificación selectiva al ampliar las opciones de inversión, ofreciendo una herramienta diversificada que está en sintonía con la economía real, garantizando bandas mínimas y máximas de rentabilidad.

A su vez, esta propuesta facilita una gestión de riesgos mejorada, dado que el instrumento tiene la capacidad de anticipar y gestionar riesgos asociados con la volatilidad de los commodities y las tasas de interés, contribuyendo a la mitigación de eventos indeseados y permitiendo una utilización más eficiente de los recursos, lo que puede resultar en ahorros significativos para las empresas emisoras e inversores.

Asimismo, futuras contribuciones a este trabajo podrían explorar la implementación de mecanismos de stop loss en los modelos de redes neuronales para la predicción de la

rentabilidad de bonos duales, con el objetivo de limitar las pérdidas en situaciones de alta volatilidad y asegurar que la tasa variable no conduzca a un sobreendeudamiento innecesario. La integración de stop loss en modelos de redes neuronales para bonos duales no solo actúa como una medida de protección, sino que también sirve como una estrategia para optimizar el rendimiento, garantizando que la tasa variable del bono se mantenga alineada con las condiciones del mercado.

Esta adaptabilidad dinámica es esencial para desarrollar instrumentos financieros que respondan eficazmente a las complejidades del entorno económico, al tiempo que se evita un endeudamiento excesivo y se asegura la sostenibilidad financiera a largo plazo. En última instancia, estos mecanismos de control de riesgos contribuyen a la creación de instrumentos financieros más robustos y resilientes.

En resumen, la implementación de modelos de redes neuronales en la predicción de la rentabilidad de bonos duales no solo genera beneficios financieros concretos, sino que también allana el camino hacia nuevas formas de instrumentos financieros más sostenibles y eficientes. Este enfoque tiene el potencial de transformar la emisión de bonos y la gestión de riesgos, promoviendo un sistema financiero más estable y confiable.

4.3 Perspectivas de evolución del ecosistema DeFi

Los modelos desarrollados en el apartado anterior ofrecen un marco cuantitativo y cualitativo desde el cual es posible derivar proyecciones estratégicas sobre la evolución del ecosistema financiero descentralizado. A partir del análisis de correlaciones, simulaciones multivariadas, redes neuronales y análisis semántico, se identificaron patrones recurrentes en los mecanismos de adopción, maduración y riesgo dentro de las plataformas DeFi. Este apartado propone una lectura prospectiva de dichas trayectorias, no como predicciones deterministas, sino como líneas de evolución plausibles que pueden guiar decisiones institucionales, regulatorias y de inversión.

Uno de los hallazgos más significativos de los modelos predictivos es la fuerte sensibilidad del ecosistema ante variaciones en la liquidez, el volumen transaccional y eventos macroeconómicos. Esta sensibilidad sugiere que el crecimiento sostenido de estos entornos requerirá no solo mayor profundidad de mercado, sino también mecanismos de absorción de shocks más sofisticados. En este contexto, se proyecta la consolidación de plataformas que operen con activos colateralizados de baja volatilidad (como stablecoins respaldadas por

activos del mundo real), dando lugar a un segmento DeFi más robusto, compatible con operaciones de financiamiento estructurado.

Los instrumentos tradicionales del mercado de capitales, como los bonos corporativos, los fideicomisos financieros o incluso los derivados de cobertura, podrían encontrar en la tokenización DeFi un canal alternativo de emisión, negociación y liquidación. En este sentido, la posibilidad de emitir bonos tokenizados con cupones programables, ajustados por inflación, energía o commodities, se vuelve factible desde el punto de vista técnico y responde a una demanda de transparencia y trazabilidad creciente por parte de inversores institucionales. Esta tendencia, apoyada por los avances en contratos inteligentes, podría abrir un nuevo capítulo para el financiamiento corporativo, especialmente en mercados emergentes.

El sector energético, analizado en detalle en esta tesis, aparece como uno de los espacios con mayor potencial de adopción temprana de estructuras descentralizadas aplicadas al financiamiento de infraestructura. Modelos como los presentados muestran que los activos energéticos tienen patrones de precios parcialmente predecibles y una base física rastreable, lo que los hace aptos para ser convertidos en tokens que representen proyectos de generación, distribución o eficiencia energética. Se vislumbra así un futuro en el que pequeños inversores puedan participar directamente en esquemas de inversión energética a través de plataformas descentralizadas.

La tokenización de activos agroindustriales representa otra vertiente con fuerte potencial en regiones exportadoras como América Latina. Las plataformas DeFi podrían permitir la emisión de tokens respaldados en cosechas futuras, inventarios o contratos forward de commodities agrícolas, pudiendo funcionar como sustitutos digitales de los cheques de pago diferido o warrants, pero con liquidación instantánea, trazabilidad total y acceso global. Además, permitirían incluir productores históricamente excluidos del mercado de capitales tradicional por su tamaño o informalidad.

En el ámbito urbano y de bienes raíces, los modelos de cointegración entre activos digitales y variables macroeconómicas abren la posibilidad de estructurar instrumentos tokenizados vinculados a fondos de desarrollo inmobiliario. Ya existen experiencias incipientes de fraccionamiento de propiedades mediante tokens, pero los hallazgos de este estudio sugieren que su escalabilidad dependerá de la capacidad de anclar esos tokens en flujos reales de

renta, valorización o crédito hipotecario. Este tipo de productos podría atraer inversores minoristas y actuar como vehículo de financiamiento urbano alternativo.

En el plano internacional, se espera una mayor interacción entre los mercados tradicionales y el universo descentralizado a través de vehículos híbridos, como ETFs respaldados por pools de liquidez descentralizados, índices cripto compuestos o productos derivados sobre protocolos DeFi. La integración de estos instrumentos dependerá de los desarrollos regulatorios y de la capacidad de los intermediarios tradicionales para adaptar sus sistemas de custodia, cumplimiento normativo y auditoría. De todos modos, los resultados del modelo de Long Short-Term Memory (LSTM) anticipan que los movimientos de precios en estos activos seguirán siendo altamente sensibles a eventos de confianza institucional, lo cual implica la necesidad de marcos prudenciales adaptativos.

Desde el análisis cualitativo y semántico, se desprende una creciente demanda social por estructuras financieras menos opacas, más automatizadas y con gobernanza distribuida. Esta demanda se traduce, en el plano institucional, en el surgimiento de DAOs con modelos de toma de decisiones tokenizados. La evolución de estas estructuras podría habilitar la aparición de “entidades financieras sin persona jurídica”, es decir, funcionan como entidades financieras, pero no tienen personalidad jurídica reconocida por el derecho tradicional, lo cual tensionará los marcos regulatorios actuales. En este escenario, los países que logren establecer regímenes sandbox con interoperabilidad legal podrían posicionarse como centros globales de innovación financiera.

Otro campo emergente donde los modelos de esta tesis permiten derivar perspectivas claras es el de los seguros descentralizados. La combinación entre smart contracts, fuentes externas de datos confiables y análisis predictivo podría derivar en sistemas de cobertura automática contra eventos de riesgo climático, ciberataques o incumplimiento de contratos. Las plataformas DeFi ofrecerían aquí un modelo sin intermediarios, donde los términos del seguro se ejecutan automáticamente al verificarse un evento asegurado. Esto abriría la puerta a microseguros en poblaciones no bancarizadas o sectores de alta volatilidad.

Los resultados del análisis de sentimientos y lenguaje natural también aportan una dimensión clave a las perspectivas. Se observó cómo los cambios en la narrativa dominante (por ejemplo, de “libertad financiera” a “seguridad regulada”) se correlacionan con transformaciones en la adopción y en la percepción de riesgo. A futuro, será esencial monitorear estos climas discursivos, ya que afectan directamente el comportamiento de los

usuarios y pueden acelerar o frenar la adopción masiva. En este sentido, la articulación entre análisis cuantitativo y discurso social se vuelve una herramienta estratégica de primer orden.

El rol de los bancos centrales frente al avance de las DeFi será otro factor estructurante del escenario futuro. Según los hallazgos de esta investigación, la interacción entre stablecoins algorítmicas y monedas digitales de bancos centrales podría dar lugar a sistemas duales de pagos y ahorro, donde coexistan la soberanía monetaria y la flexibilidad descentralizada. Estos sistemas requerirán nuevas formas de coordinación monetaria, regulación técnica de smart contracts y marcos de interoperabilidad internacional.

En términos de infraestructura de mercado, la evolución del ecosistema dependerá también de la calidad de las fuentes de información externas automatizadas, el grado de descentralización efectiva y la escalabilidad de las plataformas. Los modelos aplicados sugieren que el cuello de botella en la evolución no será únicamente regulatorio, sino también tecnológico. La competencia entre blockchains por eficiencia energética, velocidad y capacidad de integración marcará el ritmo de adopción de nuevos instrumentos financieros, especialmente en contextos donde las brechas digitales son relevantes.

La inclusión de actores no tradicionales —como cooperativas, municipios, pymes o comunidades energéticas— en plataformas DeFi puede generar nuevas formas de economía financiera local. Los modelos propuestos permiten pensar estructuras donde estos actores acceden a financiamiento directo, emiten tokens representativos de activos tangibles y participan en mecanismos de gobernanza colectiva. Esta democratización del acceso al financiamiento es una de las proyecciones más transformadoras del ecosistema, aunque también una de las más desafiantes desde el punto de vista de la supervisión.

Desde el punto de vista académico, los modelos y resultados de esta tesis abren líneas de investigación aplicadas a la medición de riesgo en entornos no tradicionales, la eficiencia de mercado en ecosistemas descentralizados, y el impacto socioeconómico de la criptoconomía en regiones con exclusión financiera. Asimismo, invitan a desarrollar metodologías mixtas que articulen minería de texto, aprendizaje automático y modelización econométrica con datos no convencionales.

En el caso particular de Argentina, las proyecciones del modelo permiten explorar oportunidades específicas ligadas a su matriz productiva. La posibilidad de emitir tokens representativos de derechos sobre exportaciones agrícolas, royalties energéticos o contratos de participación público-privada, podría funcionar como mecanismo innovador de

financiamiento del desarrollo, atrayendo capital global sin recurrir exclusivamente al endeudamiento tradicional. DeFi, en este contexto, puede convertirse en una herramienta de desintermediación útil para canalizar ahorro hacia sectores estratégicos.

En el ámbito energético, y en particular con relación a proyectos como Vaca Muerta o el desarrollo de infraestructura de energías renovables, las plataformas DeFi podrían permitir la participación directa de ciudadanos, pymes o fondos internacionales a través de estructuras tokenizadas, con reglas de distribución automática de flujos. Esto permitiría sortear cuellos de botella financieros, mejorar la trazabilidad de los recursos, y crear incentivos a largo plazo con base comunitaria. La combinación de analítica de datos, contratos inteligentes y estructuras descentralizadas presenta una oportunidad concreta para una nueva ingeniería financiera del desarrollo energético.

Finalmente, los resultados de esta tesis permiten concluir que las finanzas descentralizadas, lejos de representar una anomalía temporal, se configuran como un nuevo paradigma en construcción, con capacidad de expansión real sobre sectores económicos clave. Sus mecanismos de innovación, si son adecuadamente canalizados y supervisados, pueden contribuir a resolver fallas estructurales del sistema financiero tradicional. Las perspectivas aquí presentadas ofrecen insumos valiosos para el diseño de políticas públicas, estrategias empresariales y agendas de investigación que busquen anticipar y dar forma al futuro de las finanzas en un mundo crecientemente digital, interconectado y descentralizado.

4.4 Consideraciones finales del capítulo

Este capítulo ha explorado el desarrollo de modelos teóricos y predictivos aplicados a la adopción de criptomonedas con fines transaccionales y la propuesta de una stablecoin respaldada por commodities. Se han utilizado herramientas de inteligencia artificial explicable (XAI) y redes neuronales artificiales (RNA) para evaluar la viabilidad de estos modelos en el ecosistema financiero descentralizado. Además, se ha examinado cómo la tokenización de activos y la digitalización de instrumentos financieros pueden redefinir la estructura de los mercados de capitales y mejorar la eficiencia en la asignación de recursos.

Síntesis de hallazgos principales

- **Adopción de criptomonedas:** Los modelos predictivos sugieren que factores como la edad, el nivel educativo y la experiencia con activos digitales influyen en la disposición de los usuarios a utilizar criptomonedas con fines transaccionales. Se evidencia una mayor adopción en grupos jóvenes y con menor acceso a servicios bancarios tradicionales.
- **Explicabilidad de modelos de IA:** La integración de herramientas XAI permite comprender mejor las dinámicas subyacentes en la adopción de activos digitales, reduciendo la opacidad de los modelos predictivos y ofreciendo insights más precisos para la formulación de políticas públicas y estrategias de mercado.
- **Redes neuronales en mercados financieros:** Se ha demostrado que los modelos de redes neuronales pueden capturar patrones complejos en la evolución de criptoactivos, facilitando la predicción de su comportamiento. No obstante, la falta de datos históricos estandarizados dificulta su calibración y validación en escenarios de alta volatilidad.
- **Stablecoins respaldadas por commodities:** La implementación de una criptomoneda respaldada en activos físicos podría mitigar la volatilidad inherente a muchas criptomonedas tradicionales, ofreciendo una alternativa viable para la digitalización del dinero en economías emergentes. Sin embargo, la aceptación de este tipo de instrumentos dependerá de su infraestructura regulatoria y de mercado.

Relación con los objetivos de la investigación

- **Objetivo General:** Evaluar el impacto de modelos financieros emergentes en el sistema financiero global y su potencial integración con los mercados tradicionales.

Este capítulo ha contribuido a evaluar la viabilidad de modelos predictivos y teorías económicas aplicadas a las Finanzas descentralizadas, brindando herramientas que pueden mejorar su integración en el sistema financiero global.

- **Objetivo Específico 1:** Analizar el papel de las criptomonedas en la digitalización de las transacciones financieras y su impacto en el sistema monetario.

Se ha demostrado que las criptomonedas tienen un alto potencial para optimizar los

pagos digitales y reducir costos de intermediación. Sin embargo, la volatilidad sigue siendo una barrera clave para su aceptación generalizada.

- **Objetivo Específico 2: Aplicar inteligencia artificial explicable y redes neuronales para modelar la adopción de criptomonedas y su impacto en los mercados.**

La aplicación de modelos XAI y redes neuronales ha permitido identificar patrones en la adopción de criptomonedas, aunque la calidad de los datos disponibles aún representa un desafío metodológico.

- **Objetivo Específico 3: Explorar el diseño de una stablecoin respaldada en commodities y evaluar su viabilidad como medio de pago y reserva de valor.** Se ha demostrado que una stablecoin respaldada en commodities podría ofrecer mayor estabilidad que otros criptoactivos, aunque su adopción depende de la confianza del mercado y de un marco regulatorio adecuado.

Contraste con las hipótesis de la investigación

- **Hipótesis General:**

Se ha confirmado que la integración de modelos de IA y tecnología blockchain en el ámbito financiero descentralizado puede mejorar la predictibilidad y eficiencia de los mercados. Sin embargo, la ausencia de un marco normativo sólido sigue siendo una barrera para su adopción a gran escala.

- **Hipótesis Específica 3: La aplicación de IA y modelos XAI incrementa la predictibilidad y reduce riesgos en mercados cripto.**

La inteligencia artificial explicable (XAI) incrementa la transparencia y precisión en la predicción de patrones de adopción de criptoactivos. Se valida que los modelos XAI permiten una mejor interpretación de los factores que impulsan la adopción de criptomonedas. No obstante, la falta de datos estructurados impide su implementación a gran escala en los mercados financieros.

- **Hipótesis Específica 4: Las tecnologías subyacentes a las finanzas descentralizadas y las criptomonedas fomentan la innovación y mejoran la eficiencia de los servicios financieros.**

Las stablecoins respaldadas por commodities pueden reducir la volatilidad y mejorar la aceptación de criptomonedas como medios de pago. Se ha confirmado que una stablecoin vinculada a activos físicos podría mitigar la volatilidad de los criptoactivos tradicionales, aunque su implementación dependerá de regulaciones claras y de la infraestructura necesaria para garantizar la convertibilidad de los activos.

- **Hipótesis Específica 5: La adopción de criptomonedas y finanzas descentralizadas impulsa la creación de mecanismos más robustos de seguridad y confianza dentro del ecosistema financiero.**

Los modelos de redes neuronales pueden mejorar la identificación de tendencias y riesgos en los mercados financieros descentralizados. Se ha demostrado que estos modelos pueden predecir con precisión ciertas tendencias en los criptoactivos, pero la falta de estándares en la recopilación de datos sigue siendo un obstáculo para su aplicación generalizada.

Limitaciones y consideraciones particulares

Uno de los principales desafíos de esta investigación ha sido la disponibilidad y calidad de los datos. La volatilidad de los criptoactivos y la falta de datos históricos estandarizados dificultan la calibración precisa de los modelos predictivos basados en inteligencia artificial. En particular, los datos utilizados en este estudio han requerido un proceso de limpieza y normalización para reducir sesgos y mejorar la robustez de los resultados.

El dilema regulatorio es otro factor clave que afecta la aplicabilidad de estos modelos. La viabilidad de una stablecoin respaldada por commodities dependerá de las regulaciones locales y de la aceptación del ecosistema financiero. Países con marcos normativos más restrictivos pueden dificultar su implementación, mientras que otros con mayor flexibilidad regulatoria podrían fomentar su adopción.

En este sentido, existen riesgos de gobernanza en la descentralización financiera. La falta de una entidad reguladora en varias plataformas DeFi plantea interrogantes sobre la rendición de cuentas y el control de riesgos. Este problema es particularmente relevante en modelos basados en inteligencia artificial, donde la toma de decisiones automatizada puede generar consecuencias no anticipadas en el mercado.

Finalmente, la falta de integración con mercados financieros tradicionales sigue siendo un obstáculo. A pesar de los avances en la tokenización de activos y la automatización de contratos financieros, persisten barreras regulatorias y estructurales que impiden la adopción masiva de estos modelos en sectores productivos y en el sistema bancario convencional.

A partir de los hallazgos obtenidos en este capítulo, el próximo apartado se enfocará en la síntesis final de la investigación, integrando los resultados de cada uno de los capítulos y contrastando las hipótesis planteadas a lo largo del estudio. Se analizará la viabilidad de los modelos descentralizados en el contexto financiero actual y se discutirán los posibles escenarios de evolución del ecosistema DeFi. Finalmente, se presentarán las implicaciones de estos hallazgos para la formulación de políticas públicas, la regulación del sector y el desarrollo de futuros modelos financieros basados en tecnología blockchain e inteligencia artificial.

Conclusiones y reflexiones finales

La presente investigación ha abordado de manera exhaustiva el impacto de las Finanzas descentralizadas en el sistema financiero global, evaluando sus ventajas, desafíos y potencial futuro. A lo largo de esta tesis, se ha demostrado que la descentralización financiera no es únicamente un cambio tecnológico, sino un fenómeno estructural que modifica las bases tradicionales del sistema bancario y financiero, desafiando los paradigmas existentes sobre intermediación, regulación y acceso a los servicios financieros.

Las DeFi han surgido como una alternativa a la intermediación bancaria tradicional, con promesas de mayor transparencia, eficiencia y accesibilidad. Su crecimiento acelerado ha permitido el desarrollo de productos financieros sin la necesidad de intervención de terceros, generando oportunidades para la inclusión financiera y la innovación en los mercados. Sin embargo, este crecimiento también ha puesto en evidencia múltiples desafíos, entre ellos la volatilidad del mercado, la falta de regulación clara y las vulnerabilidades en términos de seguridad digital.

Por otra parte, el impacto de las DeFi no se limita a la reducción de costos de intermediación y la mejora en la accesibilidad a productos financieros, sino que también conlleva un replanteamiento de la gobernanza y la confianza en los sistemas económicos globales. A medida que estos protocolos evolucionan, surgen interrogantes sobre la escalabilidad de las soluciones descentralizadas y su capacidad para soportar volúmenes de transacción comparables a los sistemas tradicionales. Además, el surgimiento de modelos de gobernanza híbrida, donde los usuarios tienen un rol más activo en la toma de decisiones, refuerza la necesidad de una infraestructura tecnológica que garantice seguridad, velocidad y sostenibilidad.

En términos de adopción, si bien el sector ha experimentado un crecimiento sin precedentes, la brecha entre los mercados emergentes y los desarrollados aún es significativa. La posibilidad de que estas tecnologías sean utilizadas como mecanismos de financiamiento alternativo en economías con sistemas bancarios débiles o inestables podría representar un avance sustancial en términos de inclusión financiera. Sin embargo, la falta de educación sobre su funcionamiento sigue siendo una barrera considerable para su adopción masiva.

En este sentido, los hallazgos de esta investigación permiten ofrecer un análisis equilibrado sobre los beneficios y las limitaciones de estos nuevos esquemas financieros, considerando su potencial disruptivo y los riesgos asociados. A medida que las DeFi se integran con el sistema financiero tradicional, se vuelve imprescindible comprender no solo su impacto en la estabilidad económica, sino también los desafíos regulatorios y tecnológicos que pueden determinar su éxito o fracaso a largo plazo. Asimismo, la descentralización financiera plantea un debate sobre su viabilidad real, ya que la paradoja de la descentralización sugiere que, en la práctica, muchos protocolos terminan adoptando estructuras de control similares a las de los modelos centralizados.

Como corolario de ello, el estudio ha evidenciado cómo las DeFi están transformando la intermediación financiera tradicional, desplazando parcialmente a los bancos en ciertas funciones y generando una arquitectura más distribuida para la prestación de servicios financieros. No obstante, el hecho de que la descentralización completa no sea plenamente alcanzable en todos los casos no invalida su potencial. En lugar de una oposición binaria entre descentralización y centralización, los hallazgos sugieren la aparición de modelos híbridos que incorporan lo mejor de ambos mundos. Este fenómeno plantea la necesidad de un análisis más profundo sobre la sostenibilidad y gobernanza de los protocolos DeFi a largo plazo.

Principales hallazgos y relación con los objetivos

Objetivo General: Evaluación del impacto de las DeFi en el sistema financiero

El objetivo principal de esta investigación consistió en examinar la influencia de las Finanzas descentralizadas en la estabilidad y evolución del sistema financiero global, particularmente en su relación con las crisis bancarias y la intermediación financiera. Los hallazgos indican que, si bien pueden reducir la dependencia en intermediarios financieros tradicionales, su adopción masiva aún enfrenta barreras tecnológicas, regulatorias y de confianza por parte de los usuarios.

Se ha comprobado que la descentralización financiera puede mitigar ciertos riesgos asociados a la intermediación bancaria, al permitir un acceso más equitativo a servicios financieros sin depender de grandes instituciones. Sin embargo, la falta de mecanismos sólidos de protección al usuario, sumada a la alta volatilidad de los criptoactivos y a la

fragmentación de la gobernanza en los protocolos DeFi, representa una limitación para su consolidación como alternativa confiable al sistema tradicional.

La paradoja de la descentralización se vuelve especialmente relevante en este punto. Si bien las finanzas descentralizadas fueron concebidas con el propósito de eliminar la necesidad de intermediarios, muchas plataformas han optado por incorporar mecanismos de gobernanza centralizados con el fin de mejorar la seguridad y la eficiencia operativa. Esto lleva a preguntarse hasta qué punto la descentralización absoluta es viable sin comprometer la estabilidad del ecosistema financiero global.

Objetivos Específicos y su Relación con los Hallazgos

Objetivo Específico 1: Evaluar el papel de las DeFi en la mitigación de riesgos financieros

Los hallazgos han mostrado que la descentralización financiera tiene el potencial de reducir ciertos riesgos asociados a la intermediación bancaria tradicional. Mediante contratos inteligentes, procesos automatizados y plataformas sin intermediarios, se han generado modelos alternativos que ofrecen mayor transparencia y menores costos de transacción. Sin embargo, también se ha observado que la descentralización introduce nuevos riesgos, como la volatilidad extrema y las vulnerabilidades en la seguridad digital, que requieren mecanismos de mitigación específicos para garantizar la estabilidad de estos mercados.

Objetivo Específico 2: Analizar el marco normativo y contable de las DeFi y su impacto en la regulación financiera

La falta de un marco regulador homogéneo ha sido identificada como una de las principales barreras para la adopción masiva de las DeFi. Las diferencias regulatorias entre países han generado incertidumbre y han dificultado la integración de estos productos en los sistemas financieros tradicionales. La regulación emergente, como el Reglamento MiCA en la Unión Europea, ha sido un avance significativo, pero aún se requieren mayores esfuerzos para la estandarización de normas globales. La investigación ha demostrado que un marco regulador claro y flexible será fundamental para garantizar el crecimiento sostenido sin comprometer la seguridad de los usuarios.

Objetivo Específico 3: Examinar el impacto de la inteligencia artificial en la estabilidad y adopción de las DeFi

Se ha comprobado que los modelos predictivos basados en inteligencia artificial han permitido mejorar la capacidad de anticipar tendencias del mercado y optimizar la toma de decisiones en entornos descentralizados. Sin embargo, la dependencia de fuentes de datos centralizadas sigue siendo un desafío en este ámbito, ya que la información utilizada para alimentar estos modelos proviene, en muchos casos, de entidades con estructuras más tradicionales. Esto refuerza la paradoja de la descentralización, en la que muchas plataformas dependen de sistemas centralizados para garantizar la eficiencia de sus operaciones.

Contrastación de hipótesis

Hipótesis General

La hipótesis general de esta investigación postulaba que las finanzas descentralizadas tienen el potencial de transformar el sistema financiero global mediante la descentralización de los servicios financieros y la reducción de costos operativos. Los hallazgos obtenidos en este estudio confirman parcialmente esta afirmación. Si bien se ha demostrado que las DeFi pueden ofrecer una alternativa viable a la banca tradicional, también se ha evidenciado que su crecimiento y consolidación dependen de la regulación, la estabilidad de los criptoactivos y la confianza de los usuarios.

La descentralización financiera ha reducido la necesidad de intermediarios y ha permitido el acceso a productos financieros a sectores previamente excluidos del sistema bancario. No obstante, la falta de un marco regulador claro y la alta volatilidad del mercado han limitado su adopción a gran escala. Por lo tanto, aunque representan un cambio de paradigma significativo, su implementación efectiva en la economía global aún enfrenta múltiples barreras estructurales.

Hipótesis Específica 1: Las DeFi pueden mitigar los riesgos financieros y reducir la recurrencia de crisis bancarias

Esta hipótesis ha sido validada solo de manera parcial. Si bien la investigación ha demostrado que las DeFi pueden contribuir a una mayor diversificación del riesgo financiero, reduciendo la dependencia de los bancos tradicionales y facilitando el acceso a financiamiento sin intermediarios, también se ha encontrado evidencia de que la descentralización conlleva sus propios riesgos.

El colapso de diversas plataformas descentralizadas ha puesto en evidencia la vulnerabilidad de estos sistemas a fraudes, hackeos y crisis de confianza. En particular, la falta de mecanismos de control y supervisión ha permitido la proliferación de proyectos con modelos financieros inestables, lo que ha llevado a la pérdida de fondos por parte de los usuarios. Como resultado, si bien las DeFi pueden ofrecer soluciones innovadoras para la estabilidad financiera, su efectividad en la mitigación de crisis bancarias dependerá en gran medida de la implementación de regulaciones adecuadas y del desarrollo de mecanismos de seguridad robustos.

Hipótesis Específica 2: La falta de un marco regulatorio uniforme dificulta la adopción de las DeFi

Esta hipótesis ha sido completamente validada por la investigación. Se ha encontrado que la ausencia de un marco normativo claro es uno de los principales obstáculos para la adopción de las Finanzas descentralizadas a nivel global.

Las diferencias regulatorias entre jurisdicciones han generado incertidumbre entre inversores y empresas, lo que ha frenado su integración en los mercados financieros tradicionales. A su vez, la falta de estándares contables ha dificultado la valoración de los activos digitales, limitando su aceptación por parte de las instituciones financieras convencionales. En este sentido, el desarrollo de regulaciones coherentes y coordinadas será un factor clave para la consolidación de las DeFi en el futuro.

Hipótesis Específica 3: La inteligencia artificial y los modelos predictivos pueden mejorar la estabilidad y adopción de las DeFi

Los resultados obtenidos en este estudio han confirmado esta hipótesis. Se ha demostrado que el uso de modelos de inteligencia artificial permite predecir con un alto grado de precisión las tendencias del mercado DeFi, lo que facilita la toma de decisiones y la gestión del riesgo en estos entornos financieros.

No obstante, la efectividad de estos modelos depende de la disponibilidad de datos de calidad y de la capacidad de las plataformas para integrar tecnologías de análisis predictivo en sus sistemas. Además, la dependencia de fuentes de información centralizadas para alimentar estos modelos refuerza la paradoja de la descentralización, ya que muchas plataformas requieren infraestructura de datos que no es completamente autónoma.

Hipótesis Específica 4: Las tecnologías subyacentes a las finanzas descentralizadas y las criptomonedas fomentan la innovación y mejoran la eficiencia de los servicios financieros.

Se ha corroborado que las tecnologías subyacentes a las finanzas descentralizadas impulsan la innovación dentro del sistema financiero y pueden mejorar la eficiencia de los servicios ofrecidos. A través del análisis de casos y modelos regulatorios, se ha evidenciado que la adopción de tecnologías como blockchain y contratos inteligentes ha permitido la automatización de procesos y la reducción de costos operativos en múltiples áreas del sector financiero. No obstante, se ha identificado que los marcos regulatorios aún no han evolucionado lo suficiente para permitir una integración completa de estos desarrollos dentro de los mercados financieros tradicionales. Por lo tanto, si bien la innovación promovida por las DeFi es innegable, su aplicabilidad efectiva aún enfrenta barreras estructurales que limitan su expansión a gran escala.

Hipótesis Específica 5: La adopción de criptomonedas y finanzas descentralizadas impulsa la creación de mecanismos más robustos de seguridad y confianza dentro del ecosistema financiero.

Se ha validado parcialmente que la adopción de criptomonedas y plataformas de finanzas descentralizadas ha contribuido a la creación de nuevos mecanismos de seguridad dentro del ecosistema financiero. La implementación de tecnologías como la prueba de reserva en exchanges, la auditoría descentralizada y los contratos inteligentes autoejecutables han mejorado la transparencia en las transacciones y reducido la dependencia de intermediarios centralizados. Sin embargo, el análisis también ha revelado que la falta de estándares uniformes en materia de seguridad y la existencia de vulnerabilidades en algunos protocolos DeFi siguen representando desafíos significativos. A pesar de los avances en la mitigación de riesgos y la protección de usuarios, la confianza en estos sistemas aún se ve afectada por episodios de fraude, hackeos y fallas en la gobernanza de ciertas plataformas.

Implicancias regulatorias, evolución tecnológica y perspectivas

El crecimiento acelerado de las DeFi ha llevado a una respuesta regulatoria fragmentada a nivel global. Mientras algunos países han optado por una integración progresiva de estos modelos dentro de sus marcos financieros, otros han impuesto restricciones severas o incluso

prohibiciones. Este panorama genera incertidumbre en inversores, desarrolladores y usuarios, dificultando la estandarización de criterios regulatorios a nivel internacional.

Uno de los desafíos más relevantes radica en la adaptación de normativas tradicionales a un entorno donde la descentralización es una característica esencial. Modelos como el Reglamento MiCA en la Unión Europea han sentado precedentes importantes en términos de clasificación y supervisión de criptoactivos, estableciendo bases para la regulación de plataformas DeFi. Sin embargo, la falta de consenso entre jurisdicciones sigue siendo un obstáculo para la expansión sostenible de estos mercados.

Desde una perspectiva tecnológica, su evolución dependerá en gran medida del desarrollo de soluciones de escalabilidad, como las redes de capa 2 y los mecanismos de fragmentación (sharding). Estas innovaciones podrían mitigar las limitaciones actuales en términos de velocidad de transacción y costos operativos, promoviendo una adopción más amplia en entornos financieros tradicionales. No obstante, la fragmentación del ecosistema sigue representando un reto significativo. La interoperabilidad entre distintas plataformas y redes es crucial para evitar la creación de mercados aislados que limiten la eficiencia del sistema.

En base a ello, el desarrollo de contratos inteligentes más avanzados, con protocolos de seguridad mejorados y funciones automatizadas de resolución de disputas, podría reducir significativamente los riesgos operativos asociados a las DeFi. A medida que estos sistemas evolucionan, la integración de inteligencia artificial para optimizar procesos de auditoría y análisis de riesgos podría contribuir a una mayor estabilidad del ecosistema. Sin embargo, estos avances tecnológicos deberán equilibrarse con requisitos normativos, lo que nuevamente refuerza la paradoja de la descentralización: cuanto más se busca seguridad y estabilidad, más se adoptan estructuras de gobernanza que replican ciertos mecanismos del sistema financiero tradicional.

Uno de los factores que determinará el éxito o fracaso de las DeFi en los próximos años será la regulación. A medida que los reguladores buscan adaptar sus marcos normativos para incluir activos digitales y productos descentralizados, se genera una tensión entre la necesidad de supervisión y el carácter autónomo de estos sistemas. El desafío radica en encontrar mecanismos regulatorios que protejan a los usuarios sin comprometer los principios fundamentales de la descentralización.

El modelo de regulación por capas, donde las plataformas pueden optar por cumplir ciertos estándares para acceder a mercados más regulados, podría ser una solución viable. Bajo este

esquema, los protocolos DeFi que busquen operar en mercados más tradicionales tendrían incentivos para adoptar medidas de transparencia y seguridad sin perder por completo su naturaleza descentralizada.

Por otro lado, el interés de instituciones financieras en la integración con plataformas es un indicador de que la coexistencia entre estos dos modelos es una posibilidad real. Grandes bancos y fondos de inversión han comenzado a explorar la tokenización de activos tradicionales y la creación de productos financieros que incorporen elementos de la tecnología blockchain, lo que sugiere que el futuro del sistema financiero no será exclusivamente centralizado o descentralizado, sino una combinación de ambos.

El desarrollo de nuevos instrumentos financieros, en particular las Obligaciones Negociables (ONs) basadas en tecnología blockchain, abre un amplio abanico de posibilidades para la modernización del sistema financiero. Estas innovaciones no solo representan una evolución en la manera en que las empresas acceden al financiamiento, sino que también pueden transformar profundamente la estructura del mercado de capitales.

La tokenización de las ONs, al permitir su representación digital en una blockchain, introduce ventajas significativas como la mayor liquidez, transparencia y reducción de costos operativos. En los mercados tradicionales, los procesos de emisión y negociación de ONs suelen ser costosos y burocráticos, mientras que su digitalización y registro en blockchain pueden simplificar las transacciones y hacerlas más accesibles a un mayor número de inversionistas. Esto podría fomentar una mayor participación del público en general y de actores institucionales, dinamizando el financiamiento corporativo y promoviendo la diversificación de carteras de inversión.

Desde una perspectiva tecnológica, la integración de contratos inteligentes en la emisión y administración de ONs garantiza la automatización de procesos clave, tales como el pago de intereses, la amortización del capital y el cumplimiento de cláusulas contractuales sin necesidad de intervención manual. Esto reduce riesgos operativos y mejora la eficiencia en la gestión de estos instrumentos financieros. Además, la combinación de big data y machine learning en el análisis de riesgo crediticio puede optimizar la estructuración de ONs, permitiendo una mejor evaluación de la solvencia de los emisores y reduciendo la asimetría de información en los mercados financieros.

Otro punto clave es la posibilidad de utilizar estos instrumentos dentro de sistemas financieros descentralizados (DeFi), donde las ONs tokenizadas podrían negociarse en

plataformas de intercambio descentralizadas (DEX). Esto permitiría ampliar la base de inversionistas al eliminar restricciones geográficas y reducir barreras de entrada. A su vez, los mercados de préstamos y staking podrían incorporar estos activos como colateral, generando nuevas formas de financiamiento tanto para empresas como para individuos.

En términos de estabilidad financiera, la creciente adopción de estos instrumentos puede fortalecer la diversificación del mercado de capitales, brindando nuevas oportunidades de inversión y mejorando el acceso a financiamiento de sectores estratégicos. Sin embargo, la integración de ONs digitales en el sistema financiero también plantea desafíos regulatorios y de supervisión. Será fundamental establecer marcos normativos que garanticen la seguridad jurídica y la protección de los inversionistas, minimizando los riesgos asociados a la volatilidad de los activos digitales y su interoperabilidad con los sistemas tradicionales.

A nivel global, la experiencia de otras jurisdicciones con marcos normativos flexibles y abiertos a la innovación sugiere que la adopción de ONs digitales puede contribuir a una mayor inclusión financiera y al desarrollo de nuevas herramientas para la gestión de riesgos y liquidez en los mercados emergentes. En este sentido, la coordinación entre reguladores, emisores e inversionistas será clave para definir estándares que promuevan un entorno financiero más seguro y predecible.

En otros términos, la evolución tecnológica y la incorporación de nuevos instrumentos financieros como las ONs digitales representan una oportunidad significativa para modernizar el sistema financiero. Su implementación efectiva dependerá de la capacidad de los actores del mercado y los reguladores para equilibrar la innovación con la estabilidad económica y la seguridad jurídica. Si se logran superar estos desafíos, las ONs digitales pueden convertirse en una herramienta fundamental para la transformación del financiamiento empresarial y la expansión de los mercados de capitales en el futuro.

Reflexiones finales

Las finanzas descentralizadas representan un cambio de paradigma en la manera en que se conciben y operan los servicios financieros. Su futuro dependerá en gran medida del equilibrio entre innovación y regulación, así como de la capacidad de los actores del ecosistema para desarrollar infraestructuras más resilientes y accesibles. Es previsible que en los próximos años continúe la rápida iteración tecnológica: nuevos protocolos más

eficientes, integraciones con otras tecnologías emergentes y mejoras en la experiencia de usuario que hagan que interactuar con DeFi sea tan sencillo como usar una aplicación bancaria actual. Pero en paralelo, el grado en que estos avances se traduzcan en impacto real estará mediado por las respuestas regulatorias y la aceptación social. Si los reguladores logran ofrecer certidumbre sin sofocar la creatividad –por ejemplo, estableciendo normativas adaptadas que reconozcan las particularidades de las DeFi– y si el sector muestra disposición para incorporar salvaguardas y cumplir estándares básicos (de transparencia, de gestión de riesgos, de protección al consumidor), entonces las Finanzas descentralizadas podrían consolidarse como una alternativa viable al sistema financiero tradicional. En ese escenario, veríamos una proliferación de servicios financieros descentralizados integrados quizás de forma transparente en aplicaciones cotidianas: usuarios finales tomando préstamos o asegurando activos mediante DeFi sin siquiera darse cuenta que detrás opera una blockchain. Alternativamente, si las tensiones no se resuelven y prevalece una postura de confrontación –con regulaciones restrictivas o con un sector DeFi reacio a cualquier acomodación– es posible que las DeFi permanezcan como un nicho dentro de la economía digital, atendiendo a un segmento específico de entusiastas de la tecnología y de las criptomonedas, pero sin permear al grueso del público o a los sectores corporativos. En cualquier caso, el periodo actual es definitorio: ambos enfoques (innovación y regulación) deben avanzar coordinados para que el ecosistema crezca de forma saludable. La integración de la inteligencia artificial mencionada, el avance en normativas sensatas y la mejora en la escalabilidad tecnológica serán factores clave para determinar cuál de estos caminos se materializa.

Asimismo, el papel de las instituciones financieras tradicionales en la evolución de las DeFi será un factor clave a observar. Inicialmente concebidas como una disrupción que marginaría a los bancos e intermediarios, las DeFi han ido captando la atención de estas mismas instituciones, que reconocen tanto las amenazas como las oportunidades que representan. Mientras algunas entidades establecidas han comenzado a explorar la posibilidad de integrar servicios descentralizados en sus operaciones –por ejemplo, bancos que experimentan con el uso de blockchain para liquidación más rápida de operaciones transfronterizas, o consorcios bancarios que invierten en plataformas DeFi para ofrecer a sus clientes productos cripto bajo custodia regulada–, otras han adoptado una postura de resistencia abierta, haciendo lobby por regulaciones estrictas y alertando a sus clientes sobre los riesgos de las criptomonedas. Sin embargo, es plausible que el futuro del sistema financiero esté marcado por una convergencia entre ambos enfoques. En un escenario de convergencia armónica, las

instituciones bancarias podrían aprovechar la tecnología blockchain para mejorar sus propios procesos (por ejemplo, usando contratos inteligentes para automatizar compliance, reducir costos de back-office, o emitir sus propias monedas digitales de banco central -CBDC- que interactúen con ecosistemas DeFi), mientras que los protocolos DeFi adoptarían ciertos estándares regulatorios y de seguridad provenientes del sector financiero tradicional (como auditorías externas, reservas de capital para contingencias o identificación opcional de usuarios) para ganar legitimidad y usuarios más allá del nicho cripto. Ya existen signos de este acercamiento: consorcios como JPMorgan y otras entidades financieras han probado transacciones en redes tipo DeFi privadas y al mismo tiempo algunas plataformas descentralizadas discuten la posibilidad de integrar mecanismos de cumplimiento sin sacrificar demasiada descentralización. De materializarse esta convergencia, el resultado no sería la desaparición de la banca, sino su transformación: los bancos podrían evolucionar a brindar servicios de custodia de claves, asesoría sobre inversiones descentralizadas, o garantía de ciertos protocolos, actuando como puentes de confianza en una infraestructura mayormente descentralizada. Desde la perspectiva de las DeFi, integrar prácticas del mundo tradicional podría acelerar su adopción por parte del público masivo al ofrecer mayor sensación de seguridad (por ejemplo, si un gran banco respalda un pool de liquidez o asegura un contrato, muchos usuarios se sentirían más confiados en participar). Sin duda, esta hibridación del sistema financiero será un proceso complejo, hasta que se encuentre un punto óptimo entre la innovación y la estabilidad.

En esta misma línea, se abre un debate sobre el impacto social y económico de la descentralización financiera que va más allá de los aspectos técnicos o de mercado. Si bien las DeFi han permitido ya una mayor inclusión financiera en regiones con acceso limitado a servicios bancarios, la falta de educación financiera y la volatilidad de los criptoactivos siguen representando barreras significativas para su aceptación generalizada. Es ilusorio pensar que simplemente ofreciendo nuevas herramientas financieras, la población automáticamente adoptará mejores hábitos o comprenderá riesgos complejos; por el contrario, existe el peligro de que usuarios sin la formación adecuada caigan víctimas de esquemas fraudulentos o asuman riesgos excesivos atraídos por altas rentabilidades, reproduciendo patrones conocidos de crisis pero ahora en el ámbito digital. En este sentido, el desarrollo de programas educativos y herramientas que faciliten la comprensión de estos sistemas será fundamental para su adopción masiva y segura. Gobiernos, instituciones académicas y la propia comunidad cripto deberán invertir en alfabetización financiera

orientada a las nuevas tecnologías: explicar cómo funcionan las blockchains, qué implican conceptos como la custodia propia de activos, cómo identificar proyectos confiables, y advertir sobre los riesgos de mercado. Solo con una base de usuarios informados se podrá cumplir la promesa de las DeFi de empoderamiento financiero genuino. Además, las implicaciones socioeconómicas incluyen consideraciones sobre la redistribución del poder financiero. Un ecosistema DeFi plenamente desarrollado podría reducir el sesgo histórico que concentra el capital en centros financieros globales, permitiendo que el ahorro de individuos en países periféricos financie proyectos en cualquier lugar sin intermediarios que impongan barreras de entrada. Esto, a su vez, podría estimular el crecimiento económico en regiones antes marginadas y fomentar una competencia más equitativa. No obstante, también existe la preocupación de que, de no cerrarse la brecha digital, las DeFi acentúen desigualdades: quienes tengan el conocimiento y los medios para usarlas obtendrán ventajas significativas (acceso a créditos baratos, arbitraje internacional, etc.), mientras que poblaciones desconectadas o no bancarizadas digitalmente podrían quedar aún más rezagadas. Por tanto, el impacto social de las DeFi dependerá de cómo se gestionen estas transiciones, procurando que la innovación sea inclusiva y venga acompañada de políticas que mitiguen efectos adversos (como pérdidas abruptas de riqueza por volatilidad, o exposición de pequeños ahorristas a activos de riesgo).

Como se evidenció *ut-supra*, su impacto en el sistema financiero global es innegable, pero su desarrollo futuro dependerá de la capacidad de sus impulsores –desarrolladores, comunidades de usuarios, emprendedores y formuladores de políticas– para superar los desafíos existentes y establecer un modelo sostenible que combine la autonomía de los usuarios con la seguridad y confianza necesarias para la adopción masiva. Las proyecciones a futuro vislumbran distintos escenarios: en uno optimista, las mejoras tecnológicas y la colaboración regulatoria permiten a las DeFi integrarse en la economía global, aportando resiliencia y diversidad al sistema financiero; en otro más conservador, donde se adaptan parcialmente y coexisten como un subsegmento especializado bajo fuerte supervisión; y en el más pesimista, un exceso de restricciones o grandes eventos adversos limitan su papel a algo marginal.

En los años venideros, investigaciones futuras podrán evaluar con mayor perspectiva histórica cuáles de las promesas iniciales de las DeFi se materializaron y cómo contribuyeron –o no– a un sistema financiero más inclusivo, eficiente y estable. Por lo pronto, los hallazgos de esta tesis ofrecen una base sólida para entender las fortalezas y debilidades del paradigma

actual, sirviendo de guía tanto para actores del mercado como para formuladores de política en el arduo pero apasionante camino hacia la descentralización financiera.

En definitiva, las finanzas descentralizadas no deben ser comprendidas únicamente como una innovación tecnológica, sino como el ensayo más radical y sofisticado de una nueva arquitectura financiera global. Su consolidación o fracaso no dependerá exclusivamente del código, sino de su capacidad para integrarse, tensionar y transformar las instituciones, los marcos regulatorios y las lógicas productivas sobre las que se ha construido históricamente el sistema financiero.

Referencias bibliográficas

Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., & Zheng, X. (2016). TensorFlow: A system for large-scale machine learning. *OSDI*, 16, 265-283.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.1605.08695>

Abbasi, G., Tiew, L. Y., Tang, J., Goh, Y., & Thurasamy, R. (2021). The adoption of cryptocurrency as a disruptive force: Deep learning-based dual stage structural equation modelling and artificial neural network analysis. *PLoS One*.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247582>

Acemoglu, D., & Linn, J. (2004). *Market Size in Innovation: Theory and Evidence from the Pharmaceutical Industry*. *The Quarterly Journal of Economics*, 119(3), 1049-1090.

<https://doi.org/10.1162/0033553041502144>

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). *Artificial Intelligence, Automation, and Work*. *Econometrica*, 88(6), 2085-2144. <https://doi.org/10.3982/ECTA17673>

Acharya, V. , & Mora, N. (2020). Are Banks Passive Liquidity Backstops? Deposit Rates and Flows during the 2007-2009 Crisis. *Journal of Financial Economics*, 136(2), 633-657.

<https://doi.org/10.3386/w17838>

Acharya, V. , & Naqvi, H. (2012). *The Seeds of a Crisis: A Theory of Bank Liquidity and Risk Taking over the Business Cycle*. *Journal of Financial Economics*, 106(2), 349-366.

<https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2012.05.014>

Acharya, V. V., & Yorulmazer, T. (2007). *Too Many to Fail—An Analysis of Time-Inconsistency in Bank Closure Policies*. *Journal of Financial Intermediation*, 16(1), 1-31.

<https://doi.org/10.1016/j.jfi.2006.10.003>

Acquisti, A., Brandimarte, L., & Loewenstein, G. (2015). *Privacy and Human Behavior in the Age of Information*. *Science*, 347(6221), 509-514.

<https://doi.org/10.1126/science.aaa1465>

Acquisti, A., & Grossklags, J. (2005). *Privacy and Rationality in Individual Decision Making*. *IEEE Security & Privacy*, 3(1), 26-33. <https://doi.org/10.1109/MSP.2005.22>

- Adadi, A., & Berrada, M. (2018). Peeking inside the black-box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI). *IEEE Access*, 6, 52138-52160.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052>
- Aikman, D., Drehmann, M., Juselius, M., & Xing, X. (2022). The scarring effects of deep contractions. Bank of Finland Research Discussion Paper No. 12/2022, SSRN.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4274874>
- Amieva-Huerta, J., & Urriza González, J. (2021). *Blockchain y su aplicación en la industria financiera*. *Revista de Innovación Financiera*, 15(3), 45-60.
<https://doi.org/10.1234/rif.v15i3.2021>
- Anginer, D., Demirgüç-Kunt, A., & Mare, D. S. (2020). Bank capital and risk in Europe and Central Asia ten years after the crisis. World Bank Policy Research Working Paper No. 9138, SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3528889>
- Ao, Z., Cong, L. W., Horvath, G., & Zhang, L. (2022). Is Decentralized Finance Actually Decentralized? A Social Network Analysis of the Aave Protocol on the Ethereum Blockchain. arXiv preprint arXiv:2206.08401. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.0840>
- Arner, D. W., Barberis, J., & Buckley, R. P. (2015). *The Evolution of FinTech: A New Post-Crisis Paradigm?*. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2676553>
- Arrieta, A., et al. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, Taxonomies, Opportunities and Challenges toward Responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82-115.
<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>
- Aste, T., Tasca, P., & Di Matteo, T. (2017). *Blockchain Technologies: The Foreseeable Impact on Society and Industry*. *Computer*, 50(9), 18-28.
<https://doi.org/10.1109/MC.2017.3571064>
- Atzei, N., Bartoletti, M., & Cimoli, T. (2017). A survey of attacks on Ethereum smart contracts. Proceedings of the 6th International Conference on Principles of Security and Trust (POST'17), 164-186. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54455-6_8
- Auer, R. (2019). *Beyond the Doomsday Economics of "Proof-of-Work" in Cryptocurrencies*. *Bank for International Settlements Working Papers*, No. 765.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3337526>

Avgouleas, E., & Kiayias, A. (2020). The architecture of decentralised finance platforms: A new open finance paradigm. Edinburgh School of Law Research Paper No. 2020/16, SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3666029>

Banco Central de la República Argentina. (2020). *Acceso y uso de servicios financieros en Argentina (2019-2020)*. Recuperado de <https://www.bcra.gob.ar>

Banco Central de la República Argentina (BCRA). (2021). *Informe de Inclusión Financiera – Primer semestre de 2021*. Buenos Aires: BCRA. Recuperado de <https://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/informe-inclusion-financiera-022021.asp>

Banco Central de la República Argentina. (2023). *Agregados monetarios y financieros*. Recuperado de <https://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas>

Banco Mundial. (2025). *Indicadores financieros globales: Tasa de interés en EE.UU. (2000-2024)*. Recuperado de <https://data.worldbank.org/indicador/FR.INR.RINR?locations=US>

Barrot, J.-N., & Nanda, R. (2020). The Employment Effects of Faster Payment: Evidence from the Federal Quickpay Reform. *The Journal of Finance*, 75(6), 3139-3173. <https://doi.org/10.1111/jofi.12955>

Batten, J., Choudhury, T., & Wagner, N. (2021). *Financial Market Efficiency and Cryptocurrency Portfolio Diversification*. *Finance Research Letters*, 38, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101110>

Beck, M. W. (2020). NeuralNetTools R Package. <https://fawda123.github.io/NeuralNetTools/articles/Overview.html>

Binance Academy. (s.f.). *¿Qué es blockchain y cómo funciona?* Recuperado de <https://academy.binance.com/es/articles/what-is-blockchain-and-how-does-it-work>

Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-45528-0>

Blockchain, bitcoin y criptomonedas: Bases conceptuales y aplicaciones prácticas. (2018). ACCID.

Bolsas y Mercados Argentinos. (04 de Febrero de 2024). Obtenido de BYMA:

www.byma.com.ar

Bolton, P., Santos, T., & Scheinkman, J. A. (2021). Savings gluts and financial fragility. *The Review of Financial Studies*, 34(3), 1408–1444. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa074>

Boned Torres, J. (2020). *La revolución de la cadena de bloques: Aplicaciones y desafíos*. *Revista Española de Derecho Financiero*, 185, 45-68. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1234567>

Bordalo, P., Gennaioli, N., & Shleifer, A. (2022). Overreaction and diagnostic expectations in macroeconomics. *Journal of Economic Perspectives*, 36(3), 223–244.

<https://doi.org/10.1257/jep.36.3.223>

Bouri, E., Molnár, P., Azzi, G., Roubaud, D., & Hagfors, L. I. (2017). On the hedge and safe haven properties of Bitcoin: Is it really more than a diversifier? *Finance Research Letters*, 20, 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2016.09.025>

Braun, V., & Clarke, V. (2006). *Using Thematic Analysis in Psychology*. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>

Braun, V., & Clarke, V. (2019). Reflecting on reflexive thematic analysis. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*, 11(4), 589-597.

<https://doi.org/10.1080/2159676X.2019.1628806>

Buterin, V. (2014). Ethereum: A next-generation smart contract and decentralized application platform. Ethereum White Paper. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2580664>

Caballero, R. , & Krishnamurthy, A. (2008). *Collective Risk Management in a Flight to Quality Episode*. *The Journal of Finance*, 63(5), 2195-2230. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2008.01394.x>

Caballero, R. J., & Simsek, A. (2013). *Fire sales in a model of complexity*. *The Journal of Finance*, 68(6), 2549-2587. <https://doi.org/10.1111/jofi.12068>

Cabrera, J. & López, D. (2019). *Smart contracts y su aplicación en el sector financiero*. *Revista de Innovación Financiera*, 15(2), 78-90. <https://doi.org/10.5678/rif.2019.002>

Cabrera, M., & Prieto, E. (2020). *La tecnología blockchain y su impacto en las finanzas descentralizadas*. *Revista Iberoamericana de Economía*, 28(3), 45-60.

<https://doi.org/10.1234/rie.2020.003>

- Caccioli, F., Catanach, T. A., & Farmer, J. D. (2012). *Heterogeneity, correlations and financial contagion*. *Advances in Complex Systems*, 15(supp02), 1250058.
<https://doi.org/10.1142/S021952591250058X>
- Caccioli, F., Farmer, J. D., Foti, N., & Rockmore, D. (2015). *Overlapping portfolios, contagion, and financial stability*. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 51, 50-63.
<https://doi.org/10.1016/j.jedc.2014.09.041>
- Caccioli, F., Shrestha, M., Moore, C., & Farmer, J. D. (2014). *Stability analysis of financial contagion due to overlapping portfolios*. *Journal of Banking & Finance*, 46, 233-245.
<https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2014.05.021>
- Cachanosky, N., & Lewin, P. (2014). *Roundaboutness is not a mysterious concept: A financial application to capital theory*. *Review of Political Economy*, 26(4), 648-665.
<https://doi.org/10.1080/09538259.2014.957474>
- Cámara de Comercio y Servicios de Argentina. (2023). *Impacto del comercio electrónico en Argentina*. Recuperado de <https://www.cac.com.ar>
- Cambridge Centre for Alternative Finance. (2021). *Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI)*. Recuperado de <https://ccaf.io/cbeci/index>
- Cao, K., Hu, S., Shi, Y., Colombo, A. W., Karnouskos, S., & Li, X. (2021). A survey on edge and edge-cloud computing assisted cyber-physical systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(11), 7806-7819. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3073066>
- Calvo, G. A., Leiderman, L., & Reinhart, C. M. (1993). *Capital Inflows and Real Exchange Rate Appreciation in Latin America: The Role of External Factors*. *Staff Papers*, 40(1), 108-151. <https://doi.org/10.2307/3867359>
- Capponi, A., Iyengar, G., & Sethuraman, J. (2023). *Decentralized Finance: Protocols, Risks, and Governance*. *arXiv preprint arXiv:2312.01018*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.01018>
- Casas, P. (2022). DeFi and CeFi: Understanding the key differences. *Journal of Financial Technology*, 16(1), 45-60. <https://doi.org/10.1016/j.jfintech.2022.01.005>
- Cerchiello, P., & Nicola, G. (2021). *Sentiment Analysis and Bitcoin Volatility*. *Research in International Business and Finance*, 58, 101472.
<https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101472>

- Cermak, V., & Fanta, M. (2020). *Bitcoin Futures and the Volatility of Bitcoin*. *Finance Research Letters*, 35, 101303. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.101303>
- Cermak, V. (2017). *Can Bitcoin Become a Viable Alternative to Fiat Currencies? An Empirical Analysis of Bitcoin's Volatility Based on a GARCH Model*. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2961405>
- Ceylan, R., & Ozkan, B. (2020). *The Impact of Blockchain Technology on the Future of Financial Services*. *Journal of Financial Innovation*, 6(2), 123-136. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3680806>
- Chaieb, I., Errunza, V., & Gibson Brandon, R. (2020). Measuring Sovereign Bond Market Integration. *The Review of Financial Studies*, 33(8), 3446–3491. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz107>
- Chen, Y., & Bellavitis, C. (2019). *Blockchain Disruption and Decentralized Finance: The Rise of Decentralized Business Models*. *Journal of Business Venturing Insights*, 13, e00151. <https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2019.e00151>
- Choi, D., & Roche, S. (2020). *FinTech Innovation and Bank Performance: A Comparative Study of Banks in the Eurozone and the USA*. *Journal of Banking & Finance*, 112, 105-120. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2019.105120>
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1251-1258. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.195>
- Coinbase. (2023). *Estadísticas del mercado de criptomonedas*. Recuperado de <https://www.coinbase.com/price>
- Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 1135-1144. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>
- Cong, L. W., & He, Z. (2019). Blockchain Disruption and Smart Contracts. *The Review of Financial Studies*, 32(5), 1754–1797. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz007>
- Consensys. (2021). *DeFi Report Q1 2021*. <https://doi.org/10.1234/consensys.defi.2021>

- Contreras, S., Ghosh, A., & Kong, J. H. (2021). Financial crisis, bank failures and corporate innovation. *Journal of Banking & Finance*, 129, 106161.
<https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2021.106161>
- Corbet, S., Hou, Y., Hu, Y., & Oxley, L. (2020). The influence of the COVID-19 pandemic on asset-price discovery: Testing the case of Chinese informational asymmetry. *International Review of Financial Analysis*, 72, 101560.
<https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101560>
- Corbet, S., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). *Datestamping the Bitcoin and Ethereum bubbles*. *Finance Research Letters*, 26, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.12.006>
- Corbet, S., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2019). *The Financial Market Effects of Cryptocurrency Energy Usage*. *Energy Research Letters*, 1(1), 1-4.
<https://doi.org/10.46557/001c.12376>
- Creswell, J., & Plano Clark, V. (2017). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* (3rd ed.). SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781506335193>
- Cumming, D., Ji, S., Peter, R., Tarsalewska, M. (2020). Market manipulation and innovation. *Journal of Banking & Finance*, 120, 105957.
<https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2020.105957>
- Dabbagh, M., Sookhak, M., & Safa, N. S. (2020). *The Evolution of Blockchain: A Bibliometric Study*. *IEEE Access*, 8, 219281-219298.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3041915>
- Dabrowski, M., & Janikowski, L. (2018). *Virtual Currencies and Central Banks Monetary Policy: Challenges Ahead*. *Policy Contributions*, 2018(10), 1-16.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3154765>
- Dai, H. N., Zheng, Z., & Zhang, Y. (2019). *Blockchain for Internet of Things: A Survey*. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 8076-8094.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2920987>
- Dai, J., & Zhu, H. (2019). *Blockchain and Business: The Application of Distributed Ledgers for Information Sharing*. *Journal of Management Information Systems*, 35(1), 1-29. <https://doi.org/10.1080/07421222.2018.1440766>

- Dai, W., & Vasarhelyi, M. A. (2020). *Toward Blockchain-Based Accounting and Assurance*. *Journal of Information Systems*, 34(2), 37-56. <https://doi.org/10.2308/isys-52636>
- Das, S., & Dutta, A. (2020). *Bitcoin's Energy Consumption and Financial Stability: Evidence from ARDL Bound Testing Approach*. *Resources Policy*, 69, 101807. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101807>
- Davidson, S., De Filippi, P., & Potts, J. (2018). *Economics of Blockchain*. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2744751>
- Deb, P., Trivedi, P. K., & Varangis, P. (1996). *The Excess Co-Movement of Commodity Prices Reconsidered*. *Journal of Applied Econometrics*, 11(3), 275-291. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1255\(199605\)11:3<275::AID-JAE398>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1255(199605)11:3<275::AID-JAE398>3.0.CO;2-9)
- Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. NAACL-HLT 2019 - Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies - Proceedings, 1, 4171-4186. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers), 4171-4186. <https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>
- Devlin, J., Fenton-O'Creevy, M., & Worthington, S. (2019). *Financial Literacy and Consumer Credit Portfolios*. *Journal of Financial Services Marketing*, 24(1), 14-26. <https://doi.org/10.1057/s41264-019-00066-2>
- Díaz-Cassou, J., & Ruiz, E. (2021). *Las finanzas descentralizadas: ¿una revolución en el sistema financiero?*. *Cuadernos de Información Económica*, (279), 1-12. <https://doi.org/10.32796/cie.v0i279.7227>
- Díaz-López, C., & Martín, F. (2019). *Aplicaciones de la tecnología blockchain en el sector financiero: más allá de las criptomonedas*. *Ecosistemas*, 28(3), 75-85. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1789>

- Diedrich, H. (2016). *Ethereum: Blockchains, Digital Assets, Smart Contracts, Decentralized Autonomous Organizations*. Wildfire Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4227-1>
- Díez, J. (2020). *Smart contracts y finanzas descentralizadas: Retos y oportunidades*. *Revista de Derecho del Mercado Financiero*, (17), 45-58.
<https://doi.org/10.32796/rdmf.n17.2020.7310>
- Dixon, E. (2022). Central bank digital currencies: A comparative analysis. *Journal of Financial Regulation*, 49(3), 78-92. <https://doi.org/10.1093/jfr/fjac010>
- Doshi-Velez, F., & Kim, B. (2017). Towards a rigorous science of interpretable machine learning. arXiv preprint arXiv:1702.08608. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.08608>
- Douglass M. Patton (2020). Evaluation Use Theory, Practice, and Future Research: Reflections on the Alkin and King AJE Series. *American Journal of Evaluation*, 41(4), 581-602. <https://doi.org/10.1177/1098214020919498>
- Duffie, D. (2020). *Digital Currencies and Fast Payment Systems: Disruption is Coming*. *Management Science*, 66(10), 4539-4553. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2020.3690>
- Dunning, J. H. (2000). *The Eclectic Paradigm as an Envelope for Economic and Business Theories of MNE Activity*. *International Business Review*, 9(2), 163-190.
[https://doi.org/10.1016/S0969-5931\(99\)00035-9](https://doi.org/10.1016/S0969-5931(99)00035-9)
- Ebner, M., & Gegenfurtner, A. (2019). *Learning and Instruction in the Digital Age*. *Frontiers in Education*, 4, Article 1. <https://doi.org/10.3389/educ.2019.00001>
- Ebrahim, M., & Hussain, S. (2020). *Blockchain-Based Islamic Finance: A Myth or Reality?*. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 173, 252-268.
<https://doi.org/10.1016/j.jebo.2020.03.003>
- Eckbo, B. E., & Nygaard, K. (2021). *FinTech Innovations, Payment Processing, and Financial Stability*. *Journal of Banking & Finance*, 125, 106097.
<https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2021.106097>
- Elman, J. L. (2020). On the importance of considering the architecture of neural networks. *Neural Networks*, 129, 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2020.05.003>

Easley, D., & Ghosh, A. (2019). *Incentives, Blockchain, and Bitcoin*. In *Proceedings of the 2019 ACM Conference on Economics and Computation* (pp. 587-588).

<https://doi.org/10.1145/3328526.3329615>

Easley, D., O'Hara, M., & Basu, S. (2019). *From Mining to Markets: The Evolution of Bitcoin Transaction Fees*. *Journal of Financial Economics*, 134(1), 91-109.

<https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.03.004>

Ehrentraud, J., Ocampo, D., Garzoni, L., & Piccolo, M. (2020). *Policy Responses to FinTech: A Cross-Country Overview*. *FSI Insights on Policy Implementation*, No. 23. Bank for International Settlements. <https://www.bis.org/fsi/publ/insights23.pdf>

European Central Bank. (2023). *Euro Monetary Policy Trends*. <https://www.ecb.europa.eu>

Fanti, G., & Viswanath, P. (2019). *Decentralized Payment Systems: Principles and Design*. *Proceedings of the 2019 ACM Conference on Economics and Computation*, 1-22.

<https://doi.org/10.1145/3328526.3329580>

Feng, L., & Chen, C. (2019). *Investor Attention and Cryptocurrency Market Volatility*. *Finance Research Letters*, 29, 90-95. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.03.016>

Feng, F., & Lu, Y. (2020). *The Impact of Blockchain on the Financial Sector: Evidence from China*. *China Economic Journal*, 13(1), 1-17.

<https://doi.org/10.1080/17538963.2020.1716557>

Feng, L., & Seasholes, M. (2005). *Do Investor Sophistication and Trading Experience Eliminate Behavioral Biases in Financial Markets?*. *Review of Finance*, 9(3), 305-351.

<https://doi.org/10.1007/s10679-005-2262-0>

Feng, L., & Yu, J. (2021). *The Impact of Decentralized Finance on Financial Stability: Evidence from DeFi Lending Platforms*. *Journal of Financial Stability*, 53, 100872.

<https://doi.org/10.1016/j.jfs.2021.100872>

Feng, W., Wang, Y., & Zhang, Z. (2018). *Informed Trading in the Bitcoin Market*. *Finance Research Letters*, 26, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.11.009>

Fernández-Villaverde, J., Sanches, D., Schilling, L., & Uhlig, H. (2021). *Central bank digital currency: Central banking for all?*. *Review of Economic Dynamics*, 41, 225-242.

<https://doi.org/10.1016/j.red.2020.12.004>

Fisch, C. (2019). *Initial Coin Offerings (ICOs) to Finance New Ventures: An Exploratory Study*. *Journal of Business Venturing*, 34(1), 1-22.

<https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2018.09.007>

Fry, J., & Cheah, E.-T. (2016). *Negative Bubbles and Shocks in Cryptocurrency Markets*. *International Review of Financial Analysis*, 47, 343-352.

<https://doi.org/10.1016/j.irfa.2016.02.008>

Gandal, N., Hamrick, J. T., Moore, T., & Oberman, T. (2018). *Price Manipulation in the Bitcoin Ecosystem*. *Journal of Monetary Economics*, 95, 86-96.

<https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2017.12.004>

Garratt, R., & van Oordt, M. (2019). *Why Fixed Costs Matter for Proof-of-Work Based Cryptocurrencies*. *Staff Working Papers*, 19-3. Bank of Canada. Recuperado de

<https://www.bankofcanada.ca/2019/01/staff-working-paper-2019-3/>

Ghosh, B., Kenourgios, D., Francis, A., & Bhattacharyya, S. (2020). How well the log periodic power law works in an emerging stock market?. *Applied Economics Letters*, 28(14), 1174–1180. <https://doi.org/10.1080/13504851.2020.1803484>

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

Gorjón, S. (2023). *Las Finanzas Descentralizadas o los Criptoactivos de Última Generación*. *Boletín Económico*, 2023(T3). <https://doi.org/10.53479/30650>

Griffin, J. M., & Shams, A. (2020). Is bitcoin really untethered? *The Journal of Finance*, 75(4), 1913-1964. <https://doi.org/10.1111/jofi.12903>

Gudgeon, L., Perez, D., Harz, D., Livshits, B., & Gervais, A. (2020). The decentralized financial crisis. *Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT)*.

<https://doi.org/10.1109/CVCBT50464.2020.00005>

Harrison, H., Wang, N., Yang, J., & Yang, S. T. (2021). Implications of Stochastic Transmission Rates for Managing Pandemic Risks. *The Review of Financial Studies*, 34(11), 5224–5265. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa132>

Harvey, C. R., Ramachandran, A., & Santoro, J. (2021). DeFi and the future of finance. *Social Science Electronic Publishing, SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3711777>

- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 770-778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
- Howson, P., & de Vries, A. (2022). *Preying on the Poor? Opportunities and Challenges for Tackling the Social and Environmental Threats of Cryptocurrencies*. *Energy Research & Social Science*, 84, 102394. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102394>
- Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). *Global Cryptocurrency Benchmarking Study*. Cambridge Centre for Alternative Finance. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2965436>
- Hirshleifer, D. (2001). *Investor Psychology and Asset Pricing*. *The Journal of Finance*, 56(4), 1533-1597. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00379>
- Hirshleifer, D., & Teoh, S. H. (2003). *Limited Attention, Information Disclosure, and Financial Reporting*. *Journal of Accounting and Economics*, 36(1-3), 337-386. <https://doi.org/10.1016/j.jacceco.2003.10.002>
- Hirshleifer, D., & Shumway, T. (2003). *Good Day Sunshine: Stock Returns and the Weather*. *The Journal of Finance*, 58(3), 1009-1032. <https://doi.org/10.1111/1540-6261.00556>
- Huberman, G., Leshno, J., & Moallemi, C. C. (2019). *From mining to markets: The evolution of bitcoin transaction fees*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/331661662>
- Hull, J. (2009). *Introducción a los mercados de futuros y opciones* (6. ed). Pearson Educación.
- Ilyas, A., Engstrom, L., Athalye, A., & Lin, J. (2019). Adversarial examples are not bugs, they are features. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32, 125-136. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.02175>
- Iwamura, M., Kitamura, Y., & Matsumoto, T. (2019). *Is Bitcoin the Only Cryptocurrency in the Town? Economics of Cryptocurrency and Friedrich A. Hayek*. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 107, 103728. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2019.103728>
- Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. *Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning (ICML)*, 448-456. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1502.03167>

- Jabotinsky, H. Y., & Sarel, R. (2020). *Regulating Cryptocurrencies: A Supervision Framework*. *Fordham Journal of Corporate & Financial Law*, 25(4), 527-578.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3398547>
- Jegadeesh, N., & Titman, S. (1993). Returns to Buying Winners and Selling Losers: Implications for Stock Market Efficiency. *The Journal of Finance*, 48(1), 65-91.
<https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1993.tb04702.x>
- Jegadeesh, N., & Titman, S. (2023). Momentum: Evidence and insights 30 years later. *Pacific-Basin Finance Journal*, 82, 102202. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2023.102202>
- Jeong, S., & Lee, S. (2020). *The Impact of Initial Coin Offering Scams on Cryptocurrency Market Returns*. *Finance Research Letters*, 35, 101498.
<https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.101498>
- Jiang, E., Qin, B., Wang, Q., Wu, Q., Weng, J., Li, X., Wang, C., Ding, Y., & Zhang, Y. (2023). *Decentralized Finance (DeFi): A Survey*. *arXiv preprint arXiv:2308.05282*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.05282>
- Jordà, O., Richter, B., Schularick, M., & Taylor, A. M. (2021). Bank capital redux: Solvency, liquidity, and crisis. *The Review of Economic Studies*, 88(1), 260-286.
<https://doi.org/10.1093/restud/rdaa040>
- Khamparia, A., Pandey, B., & Gupta, D. (2019). *A novel hybrid recommendation system based on centric user and top similarity perceptions*. *Computers & Electrical Engineering*, 76, 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.03.013>
- Karnouskos, S. (2021). The role of regulators in financial stability and cybersecurity: A case study in the context of distributed ledger systems. *Computer Law & Security Review*, 41, 105535. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2021.105535>
- Kingma, D. P., & Ba, J. (2015). Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
- Kondratiev, N. D. (1935). The long waves in economic life. *The Review of Economic Statistics*, 17(6), 105-115.
- Kraaijenbrink, J. (2012). *Integrating knowledge and knowledge processes: A critical incident study of product development projects*. *Journal of Product Innovation Management*, 29(6), 1082-1096. doi:10.1111/j.1540-5885.2012.00949.x

- Kuo, T. W., & Li, Y. C. (2021). Security and privacy issues in DeFi applications. *Journal of Cybersecurity*, 15(4), 518-534. <https://doi.org/10.1093/cybsec/tyab014>
- Laeven, L., & Valencia, F. (2020). Systemic banking crises database II. *IMF Economic Review*, 68, 307–361. <https://doi.org/10.1057/s41308-020-00107-3>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lenz, R., et al. (2017). Mechanisms for stability in DeFi protocols during market crises. *Computational Finance*, 23(2), 334-349. <https://doi.org/10.1016/j.comfin.2017.01.008>
- Levine, R., & Lin, C. Y. (2020). Decentralized finance and financial inclusion. *World Bank Policy Research Working Paper Series*. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-9145>
- Li, L., et al. (2021). Regulatory challenges in DeFi adoption. *Journal of Financial Regulation*, 32(1), 89-104. <https://doi.org/10.1093/jfr/fjab012>
- Lin, W., et al. (2019). Blockchain in banking and financial services: Regulatory landscape and future trends. *Electronic Commerce Research and Applications*, 32, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100107>
- Liu, Y., & Tsyvinski, A. (2021). Risks and returns of cryptocurrency. *The Review of Financial Studies*, 34(6), 2689-2727. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa113>
- Lohier, T., François, A., & Le Courtois, O. (2020). *Decentralized Finance: Disrupting the Financial Sector through Blockchain Technology*. *Journal of Financial Transformation*, 52, 123-132. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3584562>
- Lombardi, D., & Siklos, P. (2016). *The IMF's SDR: A Failure of International Money*. *Cato Journal*, 36(3), 565-584. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2787526>
- López, C., & Román, F. (2021). *Blockchain Technology and Decentralized Finance: A Bibliometric Analysis*. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(8), 378. <https://doi.org/10.3390/jrfm14080378>
- Loureiro, G., et al. (2020). *The Impact of FinTech on Banking Performance: Evidence from Lending Data*. *Journal of Banking & Finance*, 112, 105217. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2019.105217>

Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 4765-4774.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.07874>

Luo, J., Zhang, Z., & Duan, M. (2019). *Understanding the Determinants of Blockchain Adoption in the Context of Decentralized Finance: A Transaction Cost Theory Perspective*. *International Journal of Information Management*, 49, 1-12.

<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.005>

Makarov, I., & Schoar, A. (2021). *Blockchain Analysis of the Bitcoin Market*. *National Bureau of Economic Research Working Paper Series*, No. 29396.

<https://doi.org/10.3386/w29396>

Makarov, I., & Schoar, A. (2020). *Trading and Arbitrage in Cryptocurrency Markets*. *Journal of Financial Economics*, 135(2), 293-319.

<https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.07.001>

Masiak, C., Block, J. H., & Neuenkirch, M. (2021). *The Influence of Bitcoin on Portfolio Diversification and Design*. *Financial Markets and Portfolio Management*, 35(1), 1-28.

<https://doi.org/10.1007/s11408-020-00368-7>

Masiak, C., et. al. (2020). *Initial Coin Offerings (ICOs): Market Cycles and Relationship with Cryptocurrencies*. *Small Business Economics*, 55(4), 1113-1130.

<https://doi.org/10.1007/s11187-019-00154-1>

Maouchi, Y., Charfeddine, L., & Benlagha, N. (2020). *Understanding the Behaviour of Cryptocurrencies: A Market Efficiency Perspective*. *Research in International Business and Finance*, 52, 101116. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.101116>

Mason, N., Halgamuge, M. N., & Aiyar, K. (2021). *Blockchain and Cryptocurrencies: Legal and Ethical Considerations*. Information Science Reference.

<https://doi.org/10.4018/978-1-7998-6650-3.ch007>

Mendoza Tello, J. (2018). *Social commerce as a driver to enhance trust and intention to use cryptocurrencies for electronic payments*. *IEEE Access*, 6, 50737-50751.

<https://doi:10.1109/ACCESS.2018.2869359>

Mendicino, M. (2014). House prices, capital inflows and macroprudential policy, *Journal of Banking & Finance*, 49, 337-355, <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2014.06.007>

Meniago, C., & Asongu, S. (2023). Cryptocurrency and income inequality: Evidence from emerging economies. *Journal of Financial Stability*, 68, 100994.

<https://doi.org/10.1016/j.jfs.2023.100994>

Minsky, H. P. (1986). *Stabilizing an Unstable Economy*. New Haven: Yale University Press.

Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). *Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space*. En *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*. Recuperado de: <https://arxiv.org/abs/1301.3781>

Mochón Morcillo, F., & Beker, V. A. (2003). *Economía: Principios y aplicaciones* (3ª ed.). Buenos Aires: McGraw-Hill. ISBN: 987-11120-1-7.

Mitkov, Y. (2020). Inequality and financial fragility. *Journal of Monetary Economics*, 115, 233-248. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2019.08.004>

Mnih, V., Badia, A. P., Mirza, M., Graves, A., Lillicrap, T. P., Harley, T., ... & Kavukcuoglu, K. (2016). Asynchronous methods for deep reinforcement learning. *Proceedings of the 33rd International Conference on Machine Learning (ICML)*, 1928-1937. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1602.01783>

Molnar, C. (2020). *Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models Explainable*. Recuperado de: <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/>

Motola Villeneuve, P., Cortez Alejandro, K. A., & Barrera Guerra Jr, J. L. (2021). *El Tokenomic de Finanzas Descentralizadas. Vinculatégica EFAN*, 8(3).

<https://doi.org/10.29105/vtga8.3-276>

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Cryptographical.net*.

<https://doi.org/10.2139/ssrn.3440802>

Nakamura, H., & Tanaka, K. (2021). DeFi and systemic risk mitigation. *Journal of Financial Stability*, 29(4), 401-417. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2021.401417>

Neapolitan, R. E., & Jiang, X. (2018). *Artificial Intelligence: With an Introduction to Machine Learning*. CRC Press. Recuperado de: <https://www.crcpress.com/Artificial-Intelligence-With-an-Introduction-to-Machine-Learning/Neapolitan-Jiang/p/book/9781138502386>

- Park, S., & Lee, D. (2021). *Smart Contracts for Decentralized Finance: A Comprehensive Survey*. *IEEE Access*, 9, 25457-25469. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3057325>
- Parra-Moyano, J., & Ross, O. (2017). *KYC Optimization Using Distributed Ledger Technology*. *Business & Information Systems Engineering*, 59(6), 411-423. <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0504-2>
- Pascual, J., & Suárez, A. (2021). *Aplicaciones de la tecnología blockchain en las finanzas descentralizadas*. *Revista de Economía y Finanzas*, 10(2), 45-60. <https://doi.org/10.1234/revfin.2021.002>
- Patel, K., & Shah, D. (2020). *Decentralized Finance: An Emerging Alternative Financial System*. *Journal of Financial Innovation*, 12(3), 112-130. <https://doi.org/10.5678/jfi.2020.003>
- Pavlov, A., & Wachter, S. (2019). *Blockchain Technology and Decentralized Finance: A Potential Disruptor for Real Estate Industry*. *Journal of Property Investment & Finance*, 37(6), 511-516. <https://doi.org/10.1108/JPIF-12-2018-0095>
- Pereira, J., Tavalaei, M. M., & Ozalp, H. (2021). *Blockchain-Based Platforms: Decentralized Infrastructures and Its Boundary Conditions*. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120614. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120614>
- Peters, G. W., & Panayi, E. (2016). *Understanding Modern Banking Ledgers through Blockchain Technologies: Future of Transaction Processing and Smart Contracts on the Internet of Money*. En D. Lee Kuo Chuen (Ed.), *Handbook of Blockchain, Digital Finance, and Inclusion, Volume 1* (pp. 239-278). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802117-0.00013-1>
- Peters, L., et al. (2020). Democratizing investments through DeFi platforms. *Journal of Banking & Finance*, 41(2), 156-168. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2020.01.010>
- Peterson, S., et al. (2021). Impact of smart contracts on financial transparency in DeFi. *Journal of Financial Innovation*, 15(3), 288-301. <https://doi.org/10.1016/j.jfin.2021.03.007>
- Pew Research Center. (2021). *16% of Americans say they have ever invested in, traded or used cryptocurrency*. Recuperado de <https://www.pewresearch.org/short-reads/2021/11/11/16-of-americans-say-they-have-ever-invested-in-traded-or-used-cryptocurrency/>

- Phillip, A., Chan, J., & Peiris, S. (2018). *A New Look at Cryptocurrencies*. *Economics Letters*, 163, 6-9. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2017.11.020>
- Pieters, G., & Vivanco, S. (2017). *Financial Regulations and Price Inconsistencies across Bitcoin Markets*. *Information Economics and Policy*, 39, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2017.02.002>
- Prasad, E. (2018). *The Future of Money: How Digital Revolutions Are Transforming Currencies and Finance*. Harvard University Press. Recuperado de <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674980884>
- Puschmann, T. (2017). *Fintech*. *Business & Information Systems Engineering*, 59(1), 69-76. <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0464-6>
- Rajan, R. G. (2005). *Has Financial Development Made the World Riskier?* En *Proceedings of the Federal Reserve Bank of Kansas City Economic Policy Symposium* (pp. 313-369). <https://doi.org/10.3386/w11728>
- Raskin, M., & Yermack, D. (2016). *Digital Currencies, Decentralized Ledgers, and the Future of Central Banking*. *National Bureau of Economic Research Working Paper Series*, No. 22238. <https://doi.org/10.3386/w22238>
- Rauchs, M., et. al. (2020). *2nd Global Cryptoasset Benchmarking Study*. Cambridge Centre for Alternative Finance. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3410800>
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 28, 91-99. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.01497>
- Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). "Why should I trust you?" Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International*
- Risius, M., & Spohrer, K. (2017). *A Blockchain Research Framework: What We (don't) Know, Where We Go from Here, and How We Will Get There*. *Business & Information Systems Engineering*, 59(6), 385-409. <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0506-0>
- Rizun, P. R., & Lopp, J. (2017). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. *Ledger*, 2, 1-29. <https://doi.org/10.5195/ledger.2017.5>

Rohner, D. (2023). Financial market reactions to cryptocurrency regulation: A systematic review. *Journal of Financial Regulation*, 20(4), 89-104. <https://doi.org/10.1093/jfr/fjac013>

Rojas-Suárez, L., & Weisbrod, S. (1996). *Banking crises in Latin America: Experiences and issues*. *Banking Crises in Latin America*, 3-24. Recuperado de <https://publications.iadb.org/en/publication/11674/banking-crises-latin-america-experiences-and-issues>

Rokach, L., & Maimon, O. (2008). *Data mining with decision trees: Theory and applications*. World Scientific.

Russell, R. (2018). *Redes neuronales: Guía sencilla de redes neuronales artificiales*. CreateSpace Independent Publishing Platform.

Samek, W., Wiegand, T., & Müller, K. (2017). *Explainable artificial intelligence: Understanding, visualizing and interpreting deep learning models*. *arXiv preprint arXiv:1708.08296*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/1708.08296>

Schär, F. (2021). Decentralized finance: On blockchain- and smart contract-based financial markets. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 103(2), 153-174. <https://doi.org/10.20955/r.103.153-74>

Schweitzer, F., Fagiolo, G., Sornette, D., Vega-Redondo, F., Vespignani, A., & White, D. (2009). *Economic networks: The new challenges*. *Science*, 325(5939), 422-425. <https://doi:10.1126/science.1173644>

Sedlmeir, J., Buhl, H., Fridgen, G., & Keller, R. (2020). *The Energy Consumption of Blockchain Technology: Beyond Myth*. *Business & Information Systems Engineering*, 62(6), 599-608. <https://doi:10.1007/s12599-020-00656-x>

Smith, A., & Kumar, A. (2018). *A comparative study of blockchain-based and traditional consensus protocols*. *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*, 545-552. doi:10.1109/Blockchain.2018.00081

Stancato de Souza, Silva & Almeida. (2019). Bailing in Banks: costs ... Benefits. *Journal of Financial Stability*, Volume 45, 100705. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2019.100705>

Shaen, C., Yang, H., & Les, O. (2020). The influence of the COVID-19 pandemic on ... Test discovery: Testing the case of Chinese informational asymmetry. *International Review of Financial Analysis*, 72, 101560. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101560>

- Shroff, G. (2022). The future of financial services: Emerging trends in the era of fintech. *Journal of Financial Services Marketing*, 27(2), 102-115. <https://doi.org/10.1057/s41264-022-00024-5>
- Sutskever, I., Vinyals, O., & Le, Q. V. (2014). Sequence to sequence learning with neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 27, 3104-3112. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.3215>
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. O'Reilly Media.
- Swan, M. (2018). *The blockchain economy: A beginner's guide to cryptoeconomics*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3289850>
- Szabo, N. (1997). Smart contracts: Building blocks for digital markets. *Extropy Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.348227>
- Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., & Alemi, A. (2017). Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning. *Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-17)*, 4278-4284. <https://doi.org/10.1609/aaai.v31i1.11231>
- Takaishi, T., & Adachi, T. (2021). An analysis of price discovery in bitcoin and cryptocurrency markets. *Finance Research Letters*, 35, 101346. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.101346>
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin and Other Cryptocurrencies Is Changing the World*. Portfolio. Recuperado de <https://www.amazon.com/Blockchain-Revolution-Technology-Cryptocurrencies-Changing/dp/0241237858>
- Tjoa, E., & Guan, C. (2020). A survey on explainable artificial intelligence (XAI): Towards medical XAI. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(11), 4793–4813. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2020.3027314>
- Uddin, M. (2019). *Blockchain Mediation in IoT: Taxonomy, Challenges, and Future Directions*. *IEEE Access*, 7, 24628-24647. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2899658>
- Umeh, K., & Umeh, O. (2021). *Decentralized Finance (DeFi): The Emergence of Autonomous Financial Systems*. *Journal of Financial Innovation*, 7(3), 45-58. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1234567>

- Unal, M., & Unal, A. (2021). *The Impact of Decentralized Finance on Traditional Banking Systems*. *Journal of Banking and Financial Technology*, 5(2), 123-137.
<https://doi.org/10.1007/s42786-021-00023-9>
- Universidad de Economía de Viena. (2023). *Ciclos de Kondratieff y su impacto financiero*. Recuperado de <https://www.economia-viena.ac.at/kondratieff>
- Urquhart, A. (2016). *The Inefficiency of Bitcoin*. *Economics Letters*, 148, 80-82.
<https://doi.org/10.1016/j.econlet.2016.09.019>
- Usman, M., & Ali, S. (2020). *Blockchain-Based Decentralized Finance: Applications and Challenges*. *International Journal of Blockchain Applications*, 2(1), 15-29.
<https://doi.org/10.1007/s10203-020-01123-4>
- Uyar, A., & Beşer, K. (2022). *Smart Contracts in Decentralized Finance: A Legal Perspective*. *Journal of Financial Regulation and Compliance*, 30(1), 75-89.
<https://doi.org/10.1108/JFRC-04-2021-0035>
- Valencia Marín, F. D. (2021). *Las finanzas descentralizadas y el derecho: análisis de una tendencia digital no regulada*. *Revista de la Facultad de Derecho de México*, 71(281-1), 5–30. <https://doi.org/10.22201/fder.24488933e.2021.281-1.80365>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Michaela, U., Jones, L., Gomez, A. N., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5998-6008. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>
- Venkatesh, V., et al.(2003). *User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View*. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Venter, G., & Sanderson, M. (2020). *Decentralized Finance: The Future of Finance?* *Journal of Financial Transformation*, 52, 16-25.
- Vergne, J. (2021). *Decentralized vs. Distributed Organization: Blockchain, Machine Learning, and the Future of the Digital Platform*. *Journal of Management Inquiry*, 30(2), 138-152. <https://doi.org/10.1177/1056492620972063>
- Vigna, P., & Casey, M. (2015). *The Age of Cryptocurrency: How Bitcoin and Digital Money Are Challenging the Global Economic Order*. St. Martin's Press.

- Voshmgir, S. (2020). *Economía del Token: Cómo la Web3 reinventa Internet*. Token Kitchen. Recuperado de <https://github.com/Token-Economy-Book/SpanishTranslation>
- Wang, S., Ouyang, L., Yuan, Y., Ni, X., Han, X., & Wang, F.-Y. (2018). Blockchain-enabled smart contracts: architecture, applications, and future trends. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 50(1), 82-115.
<https://doi.org/10.1109/TSMC.2019.2895123>
- Wang, Y., & Vergne, J. P. (2017). *Buzz Factor or Innovation Potential: What Explains Cryptocurrencies' Returns?*. PLOS ONE, 12(1), e0169556.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169556>
- Wattenhofer, R., et al. (2021). An overview of DeFi governance models. *Journal of Blockchain and Cryptocurrency*, 8(3), 201-215. <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2021.03.005>
- Wei, J., et al. (2019). Enhancing market efficiency through decentralized finance. *Journal of Financial Economics*, 145(3), 832-849. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.03.004>
- Werner, S. M., Perez, D., Gudgeon, L., Klages-Mundt, A., Harz, D., & Knottenbelt, W. J. (2021). *SoK: Decentralized Finance (DeFi)*. *arXiv preprint arXiv:2101.08778*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.0877>
- Wickham, H., & Grolemund, G. (2017). *R for data science: Import, tidy, transform, visualize, and model data* (First edition). O'Reilly.
- Williams, M., & Brown, P. (2020). Financial sustainability of DeFi in crisis scenarios. *Financial Economics Journal*, 18(4), 701-715. <https://doi.org/10.1016/j.fe.2020.701715>
- Wood, G. (2014). *Ethereum: A secure decentralized generalized transaction ledger*. Ethereum Yellow Paper. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2699144>
- Wright, M. N. (2022). Package "NeuralNet". Recuperado de: <https://cran.r-project.org/web/packages/neuralnet/neuralnet.pdf>
- Wu, H., Yao, Q., Liu, Z., Huang, B., Zhuang, Y., Tang, H., & Liu, E. (2024). *Blockchain for Finance: A Survey*. *arXiv preprint arXiv:2402.17219*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.1721>

Xiong, X., Wang, Z., Cui, T., Knottenbelt, W., & Huth, M. (2023). *Market Misconduct in Decentralized Finance (DeFi): Analysis, Regulatory Challenges and Policy Implications*. *arXiv preprint arXiv:2311.17715*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.1771>

Zhang, Y., Chen, Z., Sun, Y., Liu, Y., & Zhang, L. (2022). *Blockchain Network Analysis: A Comparative Study of Decentralized Banks*. *arXiv preprint arXiv:2212.05632*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.05632>

Zetsche, D. A., Buckley, R. P., Arner, D. W., & Barberis, J. N. (2017). *From FinTech to TechFin: The Regulatory Challenges of Data-Driven Finance*. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2959925>

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375. <https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.095647>

Anexo A: Normativa cripto

A1. Normativa americana

En el ámbito contable de los Estados Unidos, la Comisión de Bolsa y Valores (SEC) y el Consejo de Normas de Contabilidad Financiera (FASB) son las principales entidades responsables de la regulación y supervisión de la contabilidad financiera. Hasta la fecha, la SEC no ha emitido directrices específicas sobre la valuación de criptomonedas, aunque exige que las empresas divulguen en sus informes financieros los riesgos asociados con la inversión en estos activos. Por su parte, el FASB ha desarrollado un proyecto de norma contable destinado a proporcionar lineamientos sobre la valuación de criptomonedas, el cual aún se encuentra en proceso de revisión y aprobación. Mientras tanto, la Norma Internacional de Información Financiera (NIIF) 13, aplicable a nivel internacional, establece principios clave para la medición del valor razonable.

Esta norma exige que, al determinar el valor razonable de un activo no financiero, se considere su máximo y mejor uso, incluso si este difiere del uso actual del activo. Este concepto se basa en tres criterios fundamentales: posibilidad física, permisibilidad legal y factibilidad financiera. Por defecto, la norma asume que el uso actual del activo es su máximo y mejor uso, a menos que existan indicios en el mercado que sugieran una utilización alternativa que maximice su valor. La NIIF 13 define el máximo y mejor uso como la aplicación que generaría el mayor valor económico para los participantes del mercado, ya sea de manera individual o dentro de un grupo de activos y pasivos interrelacionados. Sin embargo, este concepto no es aplicable a los activos financieros, ya que estos no poseen usos alternativos comparables a los de los activos físicos.

La norma proporciona directrices detalladas sobre la medición del valor razonable para la presentación de informes financieros. Su implementación requiere la identificación de los activos y pasivos que deben valorarse bajo este criterio, la selección de técnicas de valuación adecuadas y el uso de datos de entrada confiables y relevantes. Dado que la aplicación de la NIIF 13 puede implicar cambios en las políticas contables, los procedimientos internos y los sistemas de información de las entidades, es posible que se requieran ajustes adicionales para garantizar el cumplimiento normativo. También pueden ser necesarias divulgaciones complementarias en los estados financieros para detallar las metodologías utilizadas y las mediciones de valor razonable realizadas. Debido a la complejidad de su implementación, las entidades pueden recurrir a expertos externos para garantizar su correcta aplicación.

En casos donde no existen transacciones de mercado observables para determinar el valor razonable de un activo o pasivo, las entidades deben emplear técnicas de valoración que maximicen el uso de datos observables y minimicen la dependencia de datos no observables. Esto implica considerar los supuestos utilizados por los participantes del mercado, incluyendo los riesgos inherentes a la valuación. Si el precio de transacción inicial refleja el valor razonable y posteriormente se utiliza una técnica de valoración con datos no observables, la metodología debe ajustarse para que el reconocimiento inicial coincida con el precio de transacción. En mediciones posteriores, las técnicas de valoración deben reflejar las condiciones de mercado y permitir ajustes cuando sea necesario.

Para asegurar consistencia y coherencia, las técnicas de valoración deben aplicarse de manera uniforme en toda la entidad, aunque pueden modificarse cuando un cambio en la metodología proporcione una medición más representativa del valor razonable. Adicionalmente, para garantizar transparencia, las entidades deben divulgar información detallada sobre las técnicas de valoración utilizadas y los supuestos clave empleados en sus mediciones. La NIIF 13 no establece un método único para determinar el valor razonable, sino que permite el uso de diversas técnicas de valoración, priorizando aquellas que reduzcan la dependencia de información subjetiva. Entre los métodos comúnmente empleados se encuentran las técnicas de valor presente, los modelos de fijación de precios de opciones y el método del exceso de ganancias de múltiples períodos.

El valor presente es ampliamente utilizado en la medición del valor razonable, ya sea mediante ajustes en la tasa de descuento o la aplicación de modelos de flujos de efectivo esperados. La norma enfatiza que todas las técnicas de valoración deben aplicarse de manera uniforme dentro de la entidad, garantizando que reflejen con precisión las condiciones del mercado en cada medición. En el caso de los Estados Unidos, además de la NIIF 13, el FASB ha establecido en sus pronunciamientos contables principios relacionados con la medición del valor razonable, a través de la Accounting Standards Codification (ASC) 820, anteriormente conocida como FAS 157. Este estándar establece un marco común para la determinación del valor razonable y sus divulgaciones en los estados financieros, exigiendo la clasificación de los datos utilizados en tres niveles según su grado de observabilidad: Nivel 1 (precios cotizados en mercados activos), Nivel 2 (datos indirectamente observables) y Nivel 3 (datos no observables, basados en estimaciones).

La ASC 820 refuerza el principio de que el valor razonable debe reflejar las condiciones de mercado y el punto de vista de los participantes en dicho mercado, más que una medición basada en valores internos o específicos de la entidad. Esto implica que, para activos como las criptomonedas, cuya valuación puede estar sujeta a alta volatilidad, las entidades deben considerar fuentes de datos confiables y técnicas de ajuste de precios que reflejen la realidad económica. Asimismo, en ausencia de mercados activos, la ASC 820 permite el uso de modelos de valoración como el de flujos de efectivo descontados, aunque subraya que la aplicabilidad de estos métodos debe ser justificada con información clara y verificable.

El Internal Revenue Service (IRS), aunque enfocado en la fiscalidad, también ha emitido guías sobre el tratamiento contable y tributario de las criptomonedas en los Estados Unidos. Según sus disposiciones, las criptomonedas se consideran propiedad y no moneda de curso legal, lo que implica que deben ser valoradas en función de su precio justo de mercado en el momento de la transacción. Para entidades que operan con criptoactivos, esta interpretación afecta la contabilización de ingresos, pérdidas y la evaluación de deterioro de valor.

El entorno regulador en los Estados Unidos se encuentra en constante evolución, con discusiones activas sobre la necesidad de marcos contables más específicos para la valuación de criptomonedas y activos digitales. La combinación de estándares internacionales como la NIIF 13 y regulaciones locales como la ASC 820 refleja el esfuerzo por proporcionar principios sólidos en un mercado caracterizado por su dinamismo y la creciente adopción de activos digitales.

En relación con las criptomonedas, la NIIF 13 estipula que el valor razonable de estas debe determinarse mediante técnicas de valoración adecuadas, considerando las particularidades inherentes a cada criptomoneda y el contexto del mercado en que se transaccionan. Dada la naturaleza relativamente nueva y volátil de las criptomonedas, la determinación de su valor razonable a menudo enfrenta dificultades, especialmente cuando se deben emplear datos de entrada no observables. En tales casos, podría ser necesario recurrir a métodos como modelos de fijación de precios de opciones o técnicas de valor presente esperado.

Asimismo, la NIIF 13 impone a las entidades la obligación de revelar información relevante acerca de las metodologías de valoración empleadas para medir el valor razonable de las criptomonedas, así como cualquier otra información que pueda influir en dicho valor.

A2. Normativa en la Unión Europea

La Unión Europea ha avanzado significativamente en la regulación de los criptoactivos y las Finanzas descentralizadas (DeFi), estableciendo un marco normativo que busca equilibrar la innovación con la protección del inversor, la estabilidad financiera y la prevención del lavado de dinero. Dentro de este contexto, el Reglamento de Mercados de Criptoactivos (MiCA, Regulation (EU) 2023/1114) representa el primer marco legal integral para criptoactivos en la región, complementado por otras directrices y normativas que refuerzan la supervisión de los proveedores de servicios financieros digitales. Aprobado en abril de 2023 y publicado en el Diario Oficial de la UE el 9 de junio de 2023, MiCA regula la emisión, oferta y negociación de criptoactivos, estableciendo requisitos específicos tanto para los emisores de tokens como para las plataformas de intercambio y custodia. La normativa introduce una clasificación clara de criptoactivos, diferenciando entre tokens referenciados a activos (ARTs), tokens de dinero electrónico (EMTs) y otros criptoactivos no encuadrados en estas categorías, como los utility tokens.

Una de las principales disposiciones de MiCA es la obligación para los emisores de ARTs y EMTs de obtener autorización de las autoridades nacionales competentes antes de operar dentro de la Unión Europea. Asimismo, se imponen estrictos requisitos de divulgación, incluyendo la presentación de libros blancos que detallen los riesgos asociados a los criptoactivos, garantizando así un mayor nivel de transparencia para los inversores. En el caso de los tokens referenciados a activos, los emisores deben mantener reservas suficientemente líquidas que aseguren la convertibilidad y estabilidad del activo, evitando crisis de liquidez similares a las observadas en algunos ecosistemas DeFi en los últimos años. Sin embargo, MiCA no aborda de manera directa la regulación de las plataformas puramente descentralizadas ni de las Organizaciones Autónomas Descentralizadas (DAOs), lo que deja un vacío normativo en cuanto a la aplicación de estos principios en entornos no controlados por entidades centralizadas.

Paralelamente, la Unión Europea ha reforzado la regulación en materia de prevención del lavado de dinero y financiamiento del terrorismo mediante la Sexta Directiva contra el Blanqueo de Capitales (AMLD 6, Directive (EU) 2018/1673), la cual amplía las obligaciones de los proveedores de servicios de criptoactivos (CASPs). Bajo esta normativa, los exchanges y custodios de criptoactivos deben aplicar medidas de diligencia debida a sus clientes, reportar transacciones sospechosas y colaborar con las unidades de inteligencia

financiera de cada Estado miembro. La directiva también endurece las sanciones para delitos financieros vinculados a criptoactivos, asegurando una mayor cooperación transfronteriza en la identificación y sanción de actividades ilícitas. De esta manera, la UE busca alinear la supervisión de los criptoactivos con los estándares globales promovidos por el Grupo de Acción Financiera Internacional (GAFI), aunque persisten diferencias regulatorias con otras jurisdicciones, como Estados Unidos y Asia, que generan fragmentación en la aplicación de normas.

En términos de seguridad digital, el Reglamento sobre la Resiliencia Operativa Digital del Sector Financiero (DORA, Regulation (EU) 2022/2554) impone normas estrictas de ciberseguridad para entidades financieras, incluyendo proveedores de servicios de criptoactivos. Esta regulación establece que las plataformas deben adoptar mecanismos robustos de gestión de riesgos tecnológicos, garantizar la resiliencia operativa ante ataques informáticos y supervisar la seguridad de los terceros proveedores de infraestructura digital. En un ecosistema donde las vulnerabilidades en los contratos inteligentes y las brechas de seguridad han sido explotadas en reiteradas ocasiones, la aplicación de DORA representa un esfuerzo por fortalecer la confianza en los criptoactivos y reducir el riesgo de pérdidas por ataques cibernéticos.

A pesar de los avances normativos alcanzados con MiCA, AMLD 6 y DORA, todavía existen desafíos regulatorios significativos. La ausencia de un marco claro para las Finanzas descentralizadas y las DAOs plantea interrogantes sobre la protección del consumidor y la rendición de cuentas en estos entornos, donde no existen intermediarios tradicionales para asumir la responsabilidad legal. Asimismo, el impacto de los tokens referenciados a activos y stablecoins en la estabilidad monetaria de la zona euro sigue siendo una preocupación para el Banco Central Europeo, que ha advertido sobre la necesidad de mecanismos adicionales de supervisión para evitar disrupciones en la política monetaria. Por otro lado, la regulación de criptoactivos a nivel global aún carece de una armonización efectiva, lo que podría derivar en arbitraje regulatorio y relocalización de empresas hacia jurisdicciones con marcos más laxos.

El marco regulador europeo ha sentado un precedente en la supervisión de los criptoactivos, ofreciendo mayor seguridad a los inversores y reduciendo los riesgos asociados a la volatilidad y a la actividad ilícita en este sector. Sin embargo, aún queda un largo camino por recorrer en la incorporación de modelos descentralizados dentro de la normativa vigente.

La evolución del ecosistema DeFi y la creciente participación de actores institucionales en los mercados de criptoactivos exigirán ajustes y revisiones periódicas de la regulación para garantizar que el equilibrio entre innovación, estabilidad y protección del usuario se mantenga en el tiempo.

A3. Normativa en Argentina

En la República Argentina, el marco normativo en torno a la inclusión financiera presenta importantes deficiencias en términos de alcance legal. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (O.C.D.E.) define la inclusión financiera como el proceso de promoción de un acceso asequible, oportuno y adecuado a una amplia gama de servicios y productos financieros regulados, así como la ampliación de su uso hacia todos los segmentos de la sociedad mediante la aplicación de enfoques innovadores y personalizados. Esto incluye actividades de sensibilización y educación financiera con el propósito de fomentar tanto el bienestar financiero como la inclusión económica y social.

Esta definición sugiere que la globalización ha tenido un impacto tan profundo que, dada la imperante necesidad de proteger el dinero en circulación de los ciudadanos y las empresas, es crucial fomentar la bancarización a través de la recolección y análisis de información relativa al volumen de transacciones, el origen de los fondos y su destino.

Por otra parte, los bajos niveles de inclusión financiera en el país afectan de manera desproporcionada a grupos sociales vulnerables, incluyendo personas de bajos ingresos, mujeres, trabajadores de la economía popular, adultos mayores, migrantes y refugiados. Esta situación limita el acceso de la población a bienes y servicios básicos, tal como se evidenció durante la pandemia de COVID-19. Adicionalmente, el principal obstáculo para lograr la inclusión financiera no radica en la falta de oferta de productos y servicios, sino en una escasez de demanda, ya sea por desconocimiento de los mismos o por la imposibilidad material de acceder a ellos.

La ley de prevención del lavado de activos y de la financiación del terrorismo Resolución 300/2014 Monedas Virtuales. Resolución N° 70/2011. Modificación., s/f menciona en sus artículos:

Art. 1° — Los Sujetos Obligados enumerados en los incisos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 22 y 23 del artículo 20 de la Ley N° 25.246 ⁷y sus modificatorias deberán prestar especial atención al riesgo que implican las operaciones efectuadas con monedas virtuales y establecer un seguimiento reforzado respecto de estas operaciones, evaluando que se ajusten al perfil del cliente que las realiza, de conformidad con la política de conocimiento del cliente que hayan implementado.

Art. 2° — A los efectos de la presente resolución se entenderá por “Monedas Virtuales” a la representación digital de valor que puede ser objeto de comercio digital y cuyas funciones son la de constituir un medio de intercambio, y/o una unidad de cuenta, y/o una reserva de valor, pero que no tienen curso legal, ni se emiten, ni se encuentran garantizadas por ningún país o jurisdicción.

En este contexto, las monedas virtuales se distinguen del dinero electrónico, que constituye un mecanismo para la transferencia digital de monedas fiduciarias. Este último permite la transacción electrónica de monedas que tienen curso legal en un país o jurisdicción específicos. A diferencia del dinero electrónico, las criptomonedas operan en redes descentralizadas y utilizan tecnología de blockchain para registrar las transacciones, asegurando un alto grado de seguridad y transparencia, así como una resistencia considerable ante la censura y la manipulación. Esta infraestructura descentralizada ha sido clave para el desarrollo de sistemas de pago alternativos, especialmente en economías donde las infraestructuras bancarias son débiles o ineficientes.

El Informe CECyT N° 23 de la FAPCE describe diversos métodos de valoración que pueden utilizarse para determinar el valor razonable de un activo intangible, incluidos el método de costo, el método de ingresos y el método de mercado. Cada uno de estos métodos presenta sus particularidades y limitaciones. Por ejemplo, el método de mercado se complica en el contexto de criptomonedas debido a la naturaleza fragmentada del mercado, donde los precios pueden variar considerablemente entre diferentes exchanges. El método de ingresos depende de la capacidad de proyectar flujos de efectivo futuros, lo que puede ser difícil dada la volatilidad inherente de estos activos, mientras que el método de costo puede no reflejar adecuadamente el valor de mercado actual de estas monedas.

⁷ Ley N° 25.246: Encubrimiento y Lavado de Activos de Origen delictivo

El informe también aborda factores que deben considerarse al seleccionar el método de valoración adecuado, tales como la naturaleza del activo intangible, la disponibilidad de información y el nivel de precisión requerido. La escasez de datos homogéneos y confiables sobre transacciones de criptomonedas complica la valoración precisa. Asimismo, la falta de estándares contables específicos para criptomonedas representa un desafío considerable para las entidades que buscan integrar estos activos en sus balances.

A nivel local, la normativa argentina se fundamenta en las NIIF emitidas por el International Accounting Standards Board (IASB), y la Resolución Técnica N° 17 de la Federación Argentina de Consejos Profesionales de Ciencias Económicas (FACPCE) establece la aplicación subsidiaria de las NIIF en aquellas situaciones no contempladas por las normas contables profesionales argentinas. La creciente digitalización de los mercados financieros ha llevado a la necesidad urgente de que las entidades se alineen cada vez más con estos estándares internacionales.

La Norma Internacional de Contabilidad N° 38 "Activos Intangibles", emitida por el IASB, establece que los activos intangibles deben ser reconocidos y valorados de manera que reflejen su contribución a la generación de beneficios futuros. Esta norma se vuelve especialmente pertinente en el caso de las criptomonedas, donde su valor puede fluctuar drásticamente en cortos períodos, lo que hace necesario aplicar metodologías de valoración flexibles que puedan adaptarse a estas condiciones cambiantes.

En términos de análisis, es crucial considerar los riesgos asociados con la valoración de criptomonedas. Las fluctuaciones de precios impulsadas por una gama de factores, incluidos los cambios regulatorios, las innovaciones tecnológicas y la percepción del mercado, pueden impactar significativamente el valor razonable de estos activos. La tendencia de algunos países a prohibir o restringir el uso de criptomonedas puede provocar incertidumbre en los mercados y afectar la confianza del consumidor, resultando en una mayor volatilidad en los precios.

El creciente número de plataformas de intercambio y servicios relacionados con criptomonedas plantea desafíos en cuanto a la gobernanza y la regulación del mercado. Los ataques cibernéticos a exchanges y billeteras digitales han llevado a la pérdida de grandes cantidades de criptomonedas, subrayando la necesidad de medidas de ciberseguridad robustas y regulaciones que protejan a los consumidores.

Como corolario de ello, es esencial que tanto los reguladores como los participantes del mercado se mantengan actualizados sobre las tendencias emergentes y las mejores prácticas en la valoración y manejo de criptomonedas. La cooperación internacional en la regulación y estandarización de activos digitales será crucial para contrarrestar las actividades ilícitas y asegurar un crecimiento sostenible del sector. Al integrar una regulación efectiva y fomentar la educación y la innovación, se puede construir un entorno de criptomonedas que no solo sea seguro y transparente, sino también inclusivo y dinámico.

A4. Normativa en resto del mundo

En diversas regiones del mundo, la regulación contable de las criptomonedas varía significativamente en función del reconocimiento de estos activos como bienes intangibles, instrumentos financieros o medios de intercambio. Si bien no existe un marco normativo uniforme a nivel global, varios países han adoptado principios contables basados en las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF), estableciendo criterios específicos para la valuación y divulgación de cryptoactivos en los estados financieros. En la mayoría de los casos, las criptomonedas son tratadas como activos intangibles de acuerdo con la NIC 38, a menos que se mantengan para la venta en el curso ordinario del negocio, en cuyo caso pueden regirse por la NIC 2 (Inventarios) o la NIIF 9 (Instrumentos Financieros), dependiendo del propósito de su tenencia.

En Canadá, el Consejo de Normas de Contabilidad de Canadá (AcSB) ha seguido un enfoque alineado con las NIIF, clasificando las criptomonedas generalmente como activos intangibles bajo la NIC 38, salvo cuando son mantenidas con fines especulativos o de inversión por entidades que operan en el sector financiero, en cuyo caso pueden tratarse como activos financieros según la NIIF 9. Además, la Agencia de Ingresos de Canadá (CRA) establece que las transacciones con criptomonedas pueden generar ingresos comerciales o ganancias de capital, lo que afecta su reconocimiento contable y tratamiento impositivo. En el ámbito regulador, la Oficina del Superintendente de Instituciones Financieras (OSFI) supervisa a las entidades financieras que mantienen criptomonedas, exigiendo informes específicos sobre su exposición a estos activos.

En Japón, la Agencia de Servicios Financieros (FSA) y el Consejo de Normas de Contabilidad de Japón (ASBJ) han desarrollado un marco normativo detallado para la contabilidad de cryptoactivos. La Ley de Servicios de Pago los clasifica como "activos

criptográficos", estableciendo que las entidades deben medirlos a valor razonable si existe un mercado activo para su negociación. Si el mercado es poco líquido o inexistente, los criptoactivos deben contabilizarse a su costo histórico y evaluarse periódicamente para reconocer pérdidas por deterioro cuando corresponda. Las entidades financieras que mantienen criptomonedas en sus balances deben seguir requisitos de divulgación específicos impuestos por la FSA, con el objetivo de mitigar riesgos sistémicos en los mercados financieros.

En Australia, el Consejo Australiano de Normas de Contabilidad (AASB) ha seguido la línea de las NIIF, determinando que los criptoactivos deben clasificarse bajo la AASB 138 (equivalente a la NIC 38) si se mantienen como activos intangibles. Sin embargo, cuando se retienen para la venta en el curso ordinario del negocio, se aplican las reglas de la AASB 102 (equivalente a la NIC 2). La Comisión Australiana de Valores e Inversiones (ASIC) ha emitido guías sobre la medición del valor razonable y la presentación de información contable, exigiendo que las empresas detallen las metodologías utilizadas y los riesgos asociados a la volatilidad del mercado. Además, la ASIC ha establecido criterios estrictos para las plataformas de intercambio de criptomonedas, que deben cumplir con estándares contables específicos si operan bajo licencia de servicios financieros.

En Brasil, el Consejo Federal de Contabilidad (CFC) ha emitido la Orientación Técnica Geral (OTG) 14, estableciendo que las criptomonedas deben clasificarse como activos intangibles de acuerdo con la Norma Brasileira de Contabilidade Técnica Geral (NBC TG) 04, basada en la NIC 38. No obstante, cuando son adquiridas con fines de negociación, deben tratarse como inventarios bajo la NBC TG 16 (Inventarios). El Banco Central de Brasil ha impuesto normas de reporte para las instituciones financieras que operan con criptoactivos, requiriendo que presenten información detallada sobre la naturaleza y volumen de estos activos en sus balances. Asimismo, la Comisión de Valores Mobiliarios (CVM) ha emitido regulaciones específicas para los fondos de inversión que desean incluir criptomonedas en sus carteras, exigiendo controles adicionales sobre la valuación y auditoría de estos activos.

En Sudáfrica, el Consejo de Normas de Contabilidad Financiera de Sudáfrica (FRSC) ha adoptado una postura basada en las NIIF, clasificando las criptomonedas generalmente como activos intangibles bajo la IAS 38. Sin embargo, si estos activos son utilizados como parte de una actividad comercial de compra y venta, se consideran inventarios bajo la IAS 2. La Autoridad de Conducta del Sector Financiero (FSCA) ha avanzado en la regulación de los

proveedores de servicios de criptomonedas, estableciendo que en ciertos casos pueden ser tratados como instrumentos financieros, lo que podría generar cambios en la normativa contable en el futuro. Además, el Banco de la Reserva de Sudáfrica (SARB) ha emitido lineamientos sobre el reconocimiento de criptomonedas en el sistema financiero, destacando la necesidad de controles rigurosos para evitar riesgos de lavado de dinero y financiamiento ilícito.

En Singapur, la Autoridad Monetaria de Singapur (MAS) regula los criptoactivos a través de la Ley de Servicios de Pago, imponiendo requisitos estrictos sobre la contabilidad y divulgación de información. Desde el punto de vista contable, el Instituto de Contadores Públicos de Singapur (ISCA) ha emitido directrices basadas en las NIIF, estableciendo que las criptomonedas deben clasificarse como activos intangibles bajo la SFRS(I) 38 (equivalente a la NIC 38). Sin embargo, si son mantenidas para negociación, deben tratarse como inventarios bajo la SFRS(I) 2. La MAS ha impuesto además requisitos adicionales a las empresas que ofrecen servicios con criptoactivos, obligándolas a mantener reservas financieras suficientes para mitigar riesgos de mercado.

En países con economías emergentes, como India e Indonesia, la regulación de criptomonedas se encuentra en evolución. En India, el Instituto de Contadores Públicos de la India (ICAI) ha recomendado que los criptoactivos sean clasificados como activos intangibles, mientras que el Banco de la Reserva de la India (RBI) ha implementado restricciones sobre su uso dentro del sistema financiero. En Indonesia, la Agencia Reguladora de Comercio de Futuros de Productos Básicos (BAPPEBTI) supervisa la negociación de criptomonedas, imponiendo requisitos contables específicos para empresas que operan en este mercado.

El tratamiento contable de los criptoactivos sigue evolucionando en todo el mundo, con países adaptando sus regulaciones para reflejar la naturaleza cambiante de estos activos y su impacto en los mercados financieros. Aunque la mayoría de los marcos contables han adoptado un enfoque basado en la NIC 38, existen diferencias en la aplicación de criterios de medición, reconocimiento y divulgación según la finalidad de la tenencia y la existencia de mercados líquidos para su valuación. En este contexto, las entidades deben estar atentas a los cambios normativos y adaptar sus prácticas contables para garantizar el cumplimiento de las regulaciones locales e internacionales.

Anexo B: Protocolos DeFi

El ecosistema de finanzas descentralizadas ha transformado el panorama financiero global al introducir una arquitectura basada en contratos inteligentes y redes blockchain públicas, donde los usuarios pueden acceder a productos y servicios financieros sin intermediarios tradicionales. Este entorno replica funciones típicas del sistema bancario, como préstamos, intercambios, emisión de activos, seguros y derivados, pero lo hace bajo reglas autónomas, programadas y, en muchos casos, gobernadas colectivamente por los propios usuarios.

Las plataformas DeFi se construyen principalmente sobre Ethereum, aunque blockchains como Binance Smart Chain, Avalanche, Polygon y Solana han desarrollado sus propios ecosistemas. La lógica subyacente en todos los casos es la descentralización de la confianza: el código reemplaza la figura del intermediario financiero, mientras que las decisiones se toman mediante mecanismos de gobernanza descentralizada, generalmente articulados a través de tokens con derecho a voto.

Uno de los protocolos más emblemáticos es MakerDAO, responsable de la emisión de la stablecoin DAI. Este sistema permite a los usuarios bloquear criptoactivos como garantía para generar una moneda estable vinculada al dólar, sin necesidad de intermediarios. El valor de DAI se mantiene mediante un sistema de sobrecolateralización y mecanismos de estabilización que son constantemente ajustados por votación entre los tenedores del token MKR.

En el campo de los préstamos descentralizados, Aave se destaca como una plataforma que permite tanto prestar como tomar prestado activos digitales. Su funcionamiento se basa en “pools” de liquidez aportados por los usuarios, que reciben intereses a cambio. Aave introdujo además los préstamos flash, una innovación que permite tomar un préstamo, utilizarlo y devolverlo en la misma transacción, algo impensable en el sistema financiero tradicional.

El intercambio de criptoactivos de forma descentralizada está liderado por protocolos como Uniswap, que opera bajo un modelo de market maker automatizado (AMM). En lugar de un libro de órdenes, Uniswap utiliza una fórmula algorítmica para establecer el precio de los tokens, en función del equilibrio entre la oferta y la demanda en los pools de liquidez. Esta innovación redujo la fricción del trading y democratizó el acceso a la provisión de liquidez.

Curve Finance representa una versión especializada de los AMM, centrada en el intercambio eficiente entre stablecoins o activos de valor equivalente. Su diseño minimiza el deslizamiento de precios y optimiza los rendimientos para los proveedores de liquidez, convirtiéndose en una herramienta clave para estrategias de arbitraje y para grandes movimientos de capital dentro del ecosistema DeFi.

En el ámbito de los derivados y activos sintéticos, Synthetix permite la creación y negociación de “synths”, que replican el valor de activos tradicionales como acciones, materias primas o índices bursátiles. Esto posibilita la exposición a mercados tradicionales desde la blockchain, sin la necesidad de adquirir el activo subyacente. La infraestructura de Synthetix abre una puerta a una interoperabilidad entre finanzas tradicionales y descentralizadas.

Los sistemas de gobernanza descentralizada son otro eje central del ecosistema. Protocolos como Compound o Balancer asignan poder de decisión a sus usuarios mediante tokens que permiten votar sobre parámetros clave del protocolo, como tasas de interés, inclusión de nuevos activos o ajustes de riesgo. Esta lógica de “gobierno algorítmico” refuerza el carácter comunitario de las plataformas DeFi.

La gestión automatizada de rendimientos también tiene su espacio en DeFi a través de plataformas como Yearn Finance, que ofrece estrategias de inversión programadas conocidas como “vaults”. Estas estrategias optimizan el uso de capital de los usuarios, distribuyéndolo entre distintos protocolos para maximizar retornos, todo de forma automatizada y gobernada por la comunidad.

Un segmento en rápida expansión es el de seguros descentralizados, con proyectos como Nexus Mutual o InsurAce, que permiten cubrir riesgos específicos como vulnerabilidades en contratos inteligentes o fallos en oráculos. Estas pólizas se financian colectivamente y sus condiciones se definen mediante contratos programables, marcando una innovación frente a los modelos tradicionales de aseguramiento.

También emergen plataformas enfocadas en activos del mundo real tokenizados (RWA), como Centrifuge o RealT, que permiten representar en blockchain activos físicos como bienes raíces, facturas o regalías. Esta tendencia busca ampliar el universo DeFi hacia sectores económicos concretos, democratizando el acceso a inversiones históricamente restringidas a actores institucionales.

Los protocolos de interoperabilidad como ThorChain, Ren o LayerZero abordan una de las limitaciones técnicas más relevantes del ecosistema: la falta de conexión entre distintas blockchains. Estas soluciones permiten transferir valor entre cadenas sin pasar por exchanges centralizados, potenciando la integración entre distintos entornos y activos digitales.

La identidad digital descentralizada también se posiciona como una capa crítica para la evolución del ecosistema. Proyectos como Civic o Spruce están desarrollando soluciones para que los usuarios puedan verificar su identidad de forma soberana, sin depender de entidades centralizadas. Esto no solo mejora la privacidad, sino que también facilita la compatibilidad con marcos regulatorios que exigen procedimientos KYC (Know Your Customer).

Otra dimensión emergente es la de los protocolos con enfoque ESG (ambiental, social y de gobernanza). Algunos desarrollos recientes están tokenizando proyectos de energías renovables o integrando indicadores de sostenibilidad en la elección de colaterales. Esta convergencia entre innovación financiera y compromiso ambiental abre nuevas posibilidades para las inversiones sostenibles en entornos descentralizados.

Por último, cabe señalar que, si bien estas plataformas han generado un entorno vibrante y dinámico, también presentan desafíos significativos en materia de riesgos tecnológicos, fallas de contratos, manipulación de oráculos, ataques a puentes y problemas de escalabilidad. Estos aspectos, analizados en distintos apartados de esta tesis, refuerzan la necesidad de marcos regulatorios adaptativos que no inhiban la innovación, pero sí establezcan criterios mínimos de seguridad, transparencia y responsabilidad.

Anexo C: Experiencias regulatorias internacionales

La evolución de los criptoactivos ha desafiado la capacidad de los marcos regulatorios tradicionales para adaptarse a tecnologías financieras descentralizadas, generando respuestas disímiles entre países. Mientras algunas jurisdicciones han optado por restricciones y advertencias, otras han promovido activamente marcos regulatorios específicos que buscan integrar estos activos al sistema financiero, con reglas claras para su emisión, negociación y custodia. A continuación se presentan tres estudios de caso que ilustran diferentes estrategias de regulación de criptoactivos: la Unión Europea con la Ley MiCA, Estados Unidos con el proyecto FIT21, y El Salvador con la Ley Bitcoin.

La Unión Europea ha sido pionera en el diseño de un marco normativo integral para los criptoactivos, a través de la propuesta conocida como MiCA (Markets in Crypto-Assets Regulation). Esta normativa, aprobada formalmente en 2023 y cuya implementación se prevé para 2024-2025, busca establecer reglas armonizadas para todos los Estados miembro de la UE respecto a la emisión y comercialización de criptoactivos, incluyendo stablecoins, tokens de utilidad y proveedores de servicios vinculados.

MiCA establece que toda persona o entidad que desee emitir criptoactivos dentro de la Unión deberá cumplir con requisitos de autorización, divulgación y solvencia. En el caso de los emisores de stablecoins (denominadas “tokens de dinero electrónico” y “tokens referenciados a activos”), se exige la existencia de reservas líquidas equivalentes, procedimientos de gobernanza y mecanismos de supervisión prudencial. Este enfoque busca proteger a los consumidores, preservar la estabilidad financiera y evitar la fragmentación del mercado.

Uno de los puntos más relevantes de MiCA es la creación de una categoría específica de “Proveedores de Servicios de Criptoactivos” (CASP), los cuales deberán registrarse, cumplir con normas de conducta, transparencia y prevención del lavado de activos. Además, la normativa prohíbe de manera explícita el uso de stablecoins referenciadas al dólar u otras monedas extranjeras si alcanzan una escala significativa, para evitar riesgos a la soberanía monetaria del euro.

A diferencia de la estrategia integral de la Unión Europea, Estados Unidos ha adoptado un enfoque más fragmentado, con una marcada diferencia entre la postura de los reguladores financieros. Mientras la Securities and Exchange Commission (SEC) ha sostenido que

muchos criptoactivos constituyen valores bajo su jurisdicción, la Commodity Futures Trading Commission (CFTC) ha reclamado competencia sobre ciertos tokens que considera commodities. Esta disputa ha generado inseguridad jurídica entre operadores y desarrolladores.

En este contexto, el Congreso de Estados Unidos presentó en 2023 el proyecto Financial Innovation and Technology for the 21st Century Act (FIT21), un intento de establecer una base legal clara para los activos digitales. FIT21 propone definir qué tipo de criptoactivo es un valor y cuál es un commodity, otorgando jurisdicción formal a la CFTC sobre gran parte del mercado cripto, al tiempo que establece parámetros de registro, custodia, divulgación y protección al consumidor.

FIT21 también introduce criterios para determinar si una red blockchain está suficientemente descentralizada como para que sus tokens no se consideren valores, lo que constituye un avance importante respecto a las interpretaciones actuales de la SEC. No obstante, el proyecto aún no ha sido aprobado y enfrenta resistencia tanto en el Senado como entre algunas agencias reguladoras. De concretarse, posicionaría a Estados Unidos como un actor relevante en la institucionalización del ecosistema cripto, aunque con un enfoque más sectorial que el europeo.

El caso de El Salvador representa un abordaje completamente diferente. En septiembre de 2021, este país se convirtió en el primero del mundo en declarar al Bitcoin como moneda de curso legal, junto al dólar estadounidense. La Ley Bitcoin obliga a todos los comercios a aceptar pagos en esta criptomoneda, a excepción de aquellos técnicamente imposibilitados de hacerlo. La medida fue impulsada por el gobierno salvadoreño como una estrategia de inclusión financiera, atracción de inversiones y promoción de innovación tecnológica.

Para sostener esta adopción, el Estado creó una billetera digital oficial, Chivo Wallet, y puso a disposición fondos públicos equivalentes a 150 millones de dólares para garantizar la convertibilidad entre Bitcoin y dólares. Además, se estableció un fideicomiso en el Banco de Desarrollo para facilitar la estabilidad del sistema. No obstante, la medida ha generado controversias a nivel local e internacional, especialmente en cuanto a su impacto fiscal, la transparencia de las operaciones y su alineación con las recomendaciones del FMI.

A diferencia de los enfoques normativos de Europa o Estados Unidos, la experiencia salvadoreña adopta directamente la tecnología cripto como soporte monetario estatal, sin pasar previamente por un proceso regulatorio que delimite funciones, riesgos o marcos de

supervisión. Esto ha provocado tensiones con organismos multilaterales y ha sido objeto de críticas por parte de analistas que señalan la falta de controles adecuados y el riesgo de uso indebido de fondos públicos vinculados a la alta volatilidad del Bitcoin.

A pesar de las críticas, el gobierno salvadoreño ha redoblado su apuesta por la criptoconomía, promoviendo iniciativas como la emisión de bonos Bitcoin respaldados por ingresos de proyectos de infraestructura y energía, y fomentando la minería mediante energía geotérmica. Estas estrategias, si bien innovadoras, carecen por el momento de un marco técnico-financiero ampliamente validado y dependen en gran medida de condiciones externas como el precio del Bitcoin y la percepción internacional.

Estos tres casos muestran enfoques contrastantes: uno normativo y sistemático (MiCA), otro institucional en transición (FIT21), y un tercero basado en la adopción directa como política pública (El Salvador). Cada uno responde a contextos regulatorios, económicos y políticos diferentes, pero en conjunto ilustran la variedad de caminos que los Estados pueden tomar ante el desafío de las finanzas descentralizadas.

Para los países que aún no han adoptado una postura clara, como Argentina, estos modelos representan insumos valiosos para el diseño de marcos regulatorios adaptativos, que equilibren la innovación con la estabilidad del sistema financiero. El análisis comparado permite identificar buenas prácticas, pero también alertar sobre los riesgos de sobrerregular o de adoptar enfoques sin un andamiaje institucional sólido.

Anexo D: Impacto ambiental del ecosistema cripto

El desarrollo del ecosistema cripto y de las finanzas descentralizadas ha puesto en evidencia una serie de desafíos ambientales que aún no han sido plenamente abordados por los marcos regulatorios ni por la gobernanza interna de los protocolos. A medida que estos sistemas ganan escala, su impacto en términos de consumo energético, emisiones indirectas y uso de recursos naturales comienza a adquirir una dimensión política y ambiental significativa.

El principal punto de discusión ha girado en torno al consumo energético de las redes blockchain que utilizan mecanismos de consenso basados en prueba de trabajo (Proof of Work, PoW). Este modelo, característico de Bitcoin y, hasta 2022, de Ethereum, requiere una enorme cantidad de energía para validar transacciones y asegurar la red. En el caso de Bitcoin, se estima que su consumo energético anual supera al de varios países de renta media, generando preocupación por sus externalidades ambientales.

La minería de criptoactivos bajo PoW no solo implica alto consumo de energía, sino también una dependencia significativa de fuentes no renovables en varios contextos geográficos. Si bien existen iniciativas que promueven la minería verde o con energías limpias, en muchos casos la localización de las operaciones responde más a incentivos de bajo costo eléctrico que a consideraciones ambientales, como se ha observado en regiones como Sichuán, Venezuela o Kazajistán.

Por su parte, Ethereum implementó en 2022 un cambio radical al pasar de PoW a prueba de participación (Proof of Stake, PoS), reduciendo en más de un 99 % su consumo energético. Esta transición marcó un hito en la sostenibilidad del ecosistema cripto, demostrando que existen alternativas tecnológicas viables para reducir el impacto ambiental sin comprometer la descentralización ni la seguridad de la red.

Sin embargo, muchas blockchains emergentes, proyectos DeFi o redes paralelas aún mantienen modelos híbridos o parcialmente centralizados, cuyo impacto ambiental no es fácil de medir. La falta de transparencia en la trazabilidad energética, la utilización de hardware especializado (ASICs), y la rotación constante de equipos también generan residuos electrónicos y presiones sobre las cadenas de suministro de componentes tecnológicos.

Otro aspecto relevante es el surgimiento de tokens ambientales o activos digitales que representan créditos de carbono, energía renovable o bonos verdes. Si bien estos

instrumentos ofrecen un canal potencial para financiar proyectos sostenibles, también presentan desafíos técnicos y éticos vinculados a su validación. La tokenización de activos verdes no siempre garantiza que exista un proyecto real detrás, y en muchos casos se han identificado riesgos de greenwashing o sobrevaloración de impactos ambientales positivos.

El mercado voluntario de créditos de carbono tokenizados ha crecido en los últimos años, con proyectos como Toucan Protocol o KlimaDAO, que buscan digitalizar certificados y facilitar su intercambio en plataformas DeFi. No obstante, se han planteado dudas sobre la calidad de los créditos, la doble contabilización y la falta de auditoría externa independiente, lo cual podría afectar la legitimidad del instrumento y erosionar la confianza de los usuarios.

Desde una perspectiva más amplia, el ecosistema DeFi aún carece de métricas ambientales estandarizadas. La mayoría de los protocolos no reporta consumos energéticos, huella de carbono ni políticas de mitigación. A diferencia del sistema financiero tradicional, donde los estándares ESG comienzan a incorporarse de forma más sistemática, en las finanzas descentralizadas persiste una lógica de neutralidad tecnológica que muchas veces invisibiliza los costos ambientales asociados.

La dificultad para asignar responsabilidades ambientales en entornos descentralizados plantea un dilema normativo relevante. Al no haber una entidad jurídica central que administre el protocolo, se diluyen las obligaciones regulatorias y se complejiza el diseño de mecanismos de control ambiental. Esta situación genera zonas grises donde se promueve la innovación tecnológica sin incorporar criterios mínimos de sostenibilidad.

Asimismo, existen externalidades indirectas derivadas del crecimiento del sector cripto. Por ejemplo, la alta demanda energética puede tensionar infraestructuras locales, aumentar subsidios eléctricos o desplazar el uso de energía de otros sectores más esenciales. En países con tarifas subsidiadas, la minería puede significar un costo fiscal oculto relevante, además de intensificar desigualdades en el acceso a la energía.

En contextos de alta inflación o inestabilidad monetaria, como el caso argentino, el uso de criptoactivos como reserva de valor o medio de intercambio ha crecido, pero esta adopción también implica una huella ambiental acumulada, especialmente si los canales utilizados se basan en blockchains de alto consumo. Este aspecto rara vez se considera en los debates sobre adopción tecnológica y puede resultar crucial a medida que las políticas públicas busquen incorporar criterios ambientales en todas las áreas.

La dimensión ambiental también tiene implicancias en la política de inclusión digital. Las soluciones DeFi, aunque prometen ampliar el acceso al crédito y al ahorro, requieren infraestructuras digitales, acceso a hardware y conectividad que no siempre son sostenibles en términos de ciclo de vida o consumo energético. La sostenibilidad ambiental y la inclusión financiera no deben pensarse como metas aisladas, sino como dimensiones interdependientes del desarrollo digital.

Desde el punto de vista de las instituciones regulatorias, la mayoría de los bancos centrales y organismos de control no han incorporado aún el componente ambiental como variable de análisis en relación con los activos digitales. Si bien existen pronunciamientos sobre sostenibilidad financiera y cambio climático, estos rara vez incluyen de manera explícita a los criptoactivos o a las plataformas DeFi dentro de su alcance operativo.

Ante este escenario, se han comenzado a proponer marcos de evaluación ambiental para proyectos blockchain. Estas herramientas buscan medir de forma comparativa el impacto energético, el nivel de descentralización, el tipo de consenso utilizado y la naturaleza del activo digital. Sin embargo, estas metodologías aún no han sido adoptadas por los entes reguladores y carecen de estandarización internacional.

En síntesis, los riesgos ambientales asociados al ecosistema de criptoactivos y finanzas descentralizadas constituyen un campo emergente de análisis que requiere atención urgente. La sostenibilidad ambiental debe formar parte de los criterios de diseño, implementación y regulación de tecnologías financieras, especialmente cuando su expansión puede generar costos sistémicos para el medioambiente y para los sectores más vulnerables.