ARTÍCULOS DE DERECHO MERCANTIL

SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA DE LOS MERCADOS DE CRIPTOACTIVOS

Eva Marcos Gautier (MUA+IBL 25')

Abstract

El auge de los mercados de criptoactivos y su creciente integración en el sistema financiero tradicional plantean interrogantes sobre la sostenibilidad económica de la tecnología *blockchain* como infraestructura de mercado. Por consiguiente, el presente artículo analiza, desde una perspectiva económico-jurídica, si *blockchain* mejora realmente la eficiencia económica del sistema financiero.

En tal sentido, se distingue entre la función económica que *blockchain* promete – caracterizada por la desintermediación, la seguridad y la transparencia – y la forma tecnológica concreta mediante la cual dichas promesas se materializan. Este estudio identifica los principales costes asociados a esta infraestructura, así como su distribución entre los distintos agentes. Entre los referidos costes destacan el consumo energético; los costes de mantenimiento de la red; las limitaciones de escalabilidad; y las externalidades económicas y sistémicas derivadas de su diseño. Frente a ello, se reconocen beneficios reales aunque contextuales, especialmente en pagos transfronterizos, transferencias continuas, y entornos que requieren de automatización y transparencia.

La comparación con los sistemas de pago tradicionales revela que, si bien *blockchain* puede ofrecer ventajas puntuales en determinados supuestos, su estructura de costes es más volátil y su capacidad de escalado más limitada. El análisis regulatorio muestra que marcos como MiCA o el *Genius Act* contribuyen a mitigar riesgos de integridad de mercado y protección del inversor, pero no resuelven de forma estructural los problemas de internalización de costes.

En conclusión, la mejora de la eficiencia económica asociada a *blockchain* es contingente y no generalizada. En vista de ello, se plantea la necesidad de avanzar tanto en el diseño tecnológico, como en la regulación, para garantizar la sostenibilidad económica de los mercados de criptoactivos.

Palabras clave: *Blockchain*; Criptoactivos; Mercados Financieros; Sostenibilidad Económica; Regulación Financiera.

I. Introducción: El auge de los Mercados de Criptoactivos

Según el Banco de España, el mercado global de los criptoactivos ha crecido significativamente en los últimos cinco años (Banco de España, 2025). No obstante, mantiene un elevado grado de concentración, puesto que las seis principales criptomonedas concentran más del 90% de la capitalización total. La evolución de su valor de mercado deja entrever una notable sensibilidad a factores macroeconómicos y políticos. Concretamente, el ciclo de relajación de la política monetaria ha fomentado la demanda de activos con mayor riesgo, como podrían ser los criptoactivos. A ello se le añade la reelección de Donald Trump como presidente de los Estados Unidos, con un posicionamiento político favorable a la industria cripto. Este último ha sido reiterado en foros internaciones como el World Economic Forum, dónde el presidente reelecto reafirmó su objetivo de que EE.UU. devenga "la capital mundial de las criptomonedas" (TradingView, 2026).

En este contexto, la capitalización del mercado de las *stablecoins* (*vid*., SCs) llegó a superar los 250.000 millones de euros a finales del año pasado (Tasca, 2025). Las SCs han captado el interés de los reguladores a escala global, y más del 70% de las jurisdicciones avanzaron en su regulación en 2025 (TRM Labs, 2025). La regulación de los criptoactivos se basa, principalmente, en MiCA en la UE y en el *Genius Act* para las SCs en EE.UU. A medida que la regulación avanza, muchos de los grandes bancos de todo el mundo – como el BBVA o Société Générale – ya han dado sus primeros pasos hacia los mercados cripto. A pesar de la naturaleza transfronteriza de los criptoactivos, la cooperación internacional es fragmentada e inconsistente, por lo que se requiere una armonización regulatoria global para evitar el arbitraje normativo (Financial Stability Board, 2025).

Todo ello evidencia un creciente grado de integración entre el sistema financiero tradicional y el ecosistema cripto. Las criptomonedas y, su tecnología subyacente *blockchain*, parecen alzarse pues como uno de los fenómenos más disruptivos a los que se enfrenta el sistema financiero contemporáneo.

A raíz de la envergadura de lo expuesto, surgen serias dudas respecto al alcance y la viabilidad de antedicha disrupción financiera. Pese al evidente auge de las criptomonedas, se cuestiona la sostenibilidad a largo plazo de los mercados de criptoactivos. Esto es, no tanto en términos medioambientales, los cuales innegablemente tendrán un impacto, sino más bien en términos económicos. La discusión central del artículo yace, consiguientemente, en evaluar si los mercados cripto tienen la capacidad para mantener su rentabilidad y crecimiento a largo plazo, de una manera eficiente. *Prima facie*, la inestabilidad, el uso especulativo y los elevados costes estructurales asociados a la tecnología *blockchain* parecen tener potencial para comprometer la referida sostenibilidad. Por ende, el presente artículo analizará desde una perspectiva económico-jurídica la tecnología subyacente y sus costes a fin de evaluar si el entorno cripto realmente mejora el sistema financiero actual.

II. Marco Conceptual: Sostenibilidad Económica, Eficiencia y Externalidades

Como paso previo al análisis de la tecnología *blockchain*, resulta necesario introducir algunos conceptos que estructurarán el presente artículo. El concepto base del mismo es la sostenibilidad económica, la cual se refiere a la capacidad de un sistema para operar y generar valor de forma duradera sin depender de desequilibrios estructurales, subsidios implícitos o la transferencia de costes a terceros (Orellana Nirian, 2020). Por lo tanto, un sistema solo se reputará sostenible en caso de contar con una estructura de costes e ingresos compatible con el largo plazo y basada en un uso eficiente de los recursos. La aplicación de antedicho concepto a los mercados financieros se traduce en la capacidad del mercado para asignar recursos eficientemente y mantener su función de coordinación entre ahorro e inversión (Serra Puente-Arnao, 2009). Esto es, garantizándose una formación de precios transparente y competitiva. La referida función no surge de manera espontánea, sino que más bien se apoya en un marco institucional y regulatorio, orientado a preservar la integridad del mercado y a evitar fallos derivados de asimetrías informativas o prácticas abusivas (Pavet & Castillo, 2009).

Otro concepto a abordar es el de eficiencia tecnológica o técnica, entendida como el grado en que una infraestructura utiliza plenamente los recursos disponibles dado el estado tecnológico existente en un momento dado (Cachanosky, 2012). Mientras que la eficiencia asignativa atiende a si los resultados son socialmente óptimos, esta se limita a evaluar si el sistema maximiza su capacidad productiva con los medios técnicos de los que dispone. La eficiencia tecnológica de los mercados financieros analiza pues si la infraestructura subyacente, y no solo los productos financieros que se negocian en ella, opera de forma eficiente en términos de costes, escalabilidad y uso de recursos. Esta última distinción adquiere especial relevancia en el contexto de los mercados de criptoactivos. Esto se debe a que la infraestructura *blockchain* no constituye una mera innovación técnica, sino un verdadero bien económico cuyo funcionamiento genera costes significativos. Entre estos últimos podría destacarse el consumo energético, los costes sistémicos asociados al diseño del mercado, así como los costes derivados de la adaptación regulatoria. Debe subrayarse que los mismos no son siempre asumidos de forma directa por aquellos que se benefician del sistema y, por ello, se plantean las externalidades negativas. Estas se producen cuando las decisiones privadas generan costes que recaen sobre terceros y no se reflejan adecuadamente en los precios (Helbling, 2010). Aplicadas a *blockchain*, incluyen tanto el impacto energético, como los riesgos sistémicos derivados del uso de determinadas infraestructuras tecnológicas de mercado. Desde esta perspectiva, resulta pertinente atender a si los costes asociados al mantenimiento de una infraestructura intensiva en recursos están siendo efectivamente internalizados por los emisores y participantes del mercado. O si, por el contrario, se trasladan de forma opaca a los inversores y a la sociedad en general, sin reflejarse adecuadamente en los precios.

Dicho esto, la infraestructura *blockchain* exige un análisis que trascienda su funcionalidad técnica y considere también su coste social agregado. Tal y como reconoció el Banco de España, la innovación financiera digital introduce infraestructuras con efectos sistémicos que van más allá de la mera eficiencia técnica (Banco de España, 2024). En consecuencia, el presente estudio debe centrarse en si *blockchain* permite una internalización eficiente y sostenible de los costes que genera o, en su defecto, si los externaliza de forma estructural, comprometiendo así su propia viabilidad económica a largo plazo.

III. *Blockchain* como Infraestructura Económica: Función y Forma

Habiendo introducido los conceptos clave, se procede al estudio de la tecnología *blockchain* con el objetivo de distinguir entre su función – esto es, aquello que promete hacer – y su forma – la manera en que lo hace –, sentando de esta forma las bases del dilema objeto de estudio relativo al coste-eficiencia de los mercados de criptoactivos.

Por una parte, se atiende a la función económica de *blockchain*, la cual se define como "una base de datos distribuida y descentralizada mediante una cadena de bloques" (García Mexía, 2023). Permite verificar y validar transacciones mediante un proceso de consenso entre los denominados "nodos" de la red, que no son más que las entidades que la forman. A pesar de que esta tecnología se esté utilizando en múltiples ámbitos – como el de la salud o la propiedad intelectual –, surgió en el seno de los servicios financieros, en los que *a priori* reduce costes y tiempo. La promesa funcional troncal de *blockchain* reside en la descentralización, eliminando de esta forma a los intermediarios y garantizando la integridad de la información registrada. La desintermediación; la seguridad y resistencia a la manipulación; y la estabilidad del registro se alzan pues como elementos clave. Desde sus inicios, esta tecnología ha buscado sustituir a los intermediarios financieros tradicionales por redes distribuidas en las que los propios participantes validan y mantienen el sistema. Sin embargo, este no es un concepto absoluto y, además, debe distinguirse entre la dimensión institucional – que busca reducir el poder de entidades centralizadas – y la infraestructural – centrada en la distribución técnica de nodos y datos (Tumasjan, 2024). Estas dimensiones pueden combinarse en distintos grados y, por ello, la función económica de *blockchain* no consiste tanto en erradicar la intermediación, sino en redistribuirla y codificarla en la infraestructura. A raíz de ello, nace el contraste entre las plataformas centralizadas (*i.e.* CEXs) y las descentralizadas (*i.e.* DEXs), en la medida en que ambas representan distintos grados de desintermediación. La seguridad y resistencia a la manipulación son el presupuesto para que un sistema descentralizado sea fiable. Por tanto, *blockchain* permite garantizar la integridad de los datos mediante un libro mayor distribuido, inmutable y transparente, en el que las transacciones, una vez registradas, no pueden ser alteradas sin dejar rastro (Dommari & Vashishtha, 2025). En términos económicos, ello se traduce en una reducción significativa del riesgo de comisión de prácticas abusivas de mercado, al devenir estas altamente costosas y difíciles de coordinar. En esta línea, *blockchain* actúa como una infraestructura de datos que se comparten, sincronizan y replican continuamente para asegurar que los participantes operen sobre la misma información. Antedicha estabilidad del registro proporciona

certeza sobre el historial de transacciones, de forma que se reduce la necesidad de reconciliaciones posteriores e, incluso, se llegan a coordinar eficientemente intercambios transfronterizos complejos (Khan, 2025). En definitiva, no es acertado calificar a *blockchain* como un mero activo novedoso, pues parece estar posicionándose como el eje de la transformación financiera (Villegas, 2026).

Por otra parte, y sin entrar en excesivos detalles técnicos, la forma concreta en que *blockchain* materializa antedichas promesas funcionales es apoyándose en una arquitectura técnica y multinivel compleja. Puntualizar que la comprensión de esta última resulta imprescindible para evaluar la eficiencia económica real de esta tecnología. Las cadenas de bloques son bloques de datos e información, pública, relativa a transacciones registradas, que están unidos entre sí para conformar una cadena. De estas últimas guardan copias completas todos los nodos, quienes colaboran para preservar el registro distribuido mediante un algoritmo de consenso basado en tecnología de *hash* criptográfico. Este paradigma de colaboración se denomina red de tipo *Peer-to-Peer* y, pese a garantizar la inmutabilidad de los registros, puede implicar elevados costes asociados a los *hardwares* requeridos para operar los nodos (García Mexía, 2023). El uso de técnicas de criptografía avanzada, en particular a través de la función *hash* y las firmas digitales, hace que cada transacción se transforme en una secuencia única de caracteres. Esto facilita la detección de alteraciones posteriores puesto que un mínimo cambio rompería la cadena de bloques. En otras palabras, la referida función *hash* favorece la trazabilidad de transacciones individuales, asegurando pues la integridad del sistema. Sin embargo, esta técnica de seguridad consume considerables niveles de recursos computacionales. Retomando el proceso de consenso, encargado de la sincronización de datos en *blockchain*, decir que existen dos modelos predominantes. El primero, PoW (*i.e. Proof-of-Work*), supone la competición de mineros en la resolución de problemas matemáticos complejos, de manera que se otorga el derecho de validación y una recompensa al primero que lo consiga. Este mecanismo ha demostrado ser sólido, pero requiere de un gasto de tiempo, poder de cómputo y energía elevados (Coinbase, s.f.). El segundo, PoS *(i.e. Proof-of-Stake*), se basa en la tenencia de criptoactivos por lo que, cuántos más se tenga, más posibilidad hay de que se te asigne la validación de transacciones. Se trata pues de una alternativa mucho más eficiente, aunque introduce otras tensiones como las de la concentración del poder. Finalmente, la estructura de la red está compuesta por tres niveles, que son la infraestructura de internet, la capa *blockchain* y las aplicaciones. Esta estructura facilita la expansión del sistema al permitir el funcionamiento de los denominados *wallets*, *smart contracts* y las aplicaciones descentralizadas (*i.e*. DApps), empero, añaden una notable complejidad técnica. Asimismo, generan dependencia a componentes externos, como los oráculos, que introducen información del mundo real en *blockchain*.

Llegados a este punto, se introduce el dilema central del artículo relativo a si *blockchain* mejora la estabilidad y eficiencia del sistema financiero lo suficiente como para justificar los costes materiales, organizativos y económicos que su infraestructura exige. Resulta

pues clave distinguir entre dos planos analíticos que, si bien están estrechamente relacionados, no deben confundirse. Por un lado, *blockchain* promete una estabilidad económica reforzada, cuyas características sean capaces de contribuir a la reducción de costes y riesgos asociados a la discrecionalidad de los intermediarios, así como a las prácticas abusivas del mercado. En esencia, busca sustituir la confianza jurídica e institucional por una confianza de carácter técnico y algorítmico. Por otro lado, esta promesa se confronta con la sostenibilidad material real del sistema, que atiende a la capacidad de su infraestructura tecnológica para aprobar el test de la sostenibilidad económica. En este sentido, *blockchain* conlleva una serie de riesgos que derivan directamente de la forma tecnológica adoptada. Primeramente, determinados mecanismos de consenso pueden generar asimetrías informativas, reproduciendo e, incluso agravando, los fallos propios del mercado financiero tradicional. Igualmente, aquellos pueden favorecer la concentración del poder de validación, especialmente en PoS. Esta dinámica amenaza con la recentralización económica y de captura del protocolo, lo que acabaría desvirtuando completamente la función económica de *blockchain*. A la postre, antedichas tendencias tienen un impacto directo sobre la estabilidad y la eficiencia de los mercados de criptoactivos. Así, la estabilidad que *blockchain* promete a nivel técnico puede verse deteriorada a nivel económico si no se abordan los efectos estructurales de su diseño.

IV. Costes de la Infraestructura *Blockchain*: Energía, Mantenimiento y Escalabilidad

Este apartado busca analizar los costes estructurales de *blockchain* en tanto que sistema económico, aunque sin entrar en excesivos detalles numéricos. Por ende, se procederá al estudio de sus costes energéticos; de sus costes de mantenimiento de la red; y de sus problemas de escalabilidad.

En una primera instancia, decir que los costes energéticos de *blockchain* dependen predominantemente del mecanismo de consenso escogido. En el caso de PoW, el consumo energético constituye un elemento estructural del diseño del protocolo, pues la seguridad frente a los abusos de mercado se basa directamente en el gasto económico y energético agregado a la red (Stieger & Zoller, 2022). En otras palabras, la seguridad y el consumo energético guardan una relación endógena en que, cuanto mayor sea el consumo, más alto será el coste de atentar contra la *blockchain*. Antedicha relación se ve reforzada por los incentivos económicos del minado, lo que provoca que las mejoras en eficiencia técnica no conlleven a reducciones del consumo total. Por el contrario, la reducción del coste del minado hace que esta práctica se vuelva más rentable. Esto es, que el consumo energético vuelve a crecer hasta alcanzar un nuevo equilibrio económico[249] (*vid*., "efecto rebote"). En vista de los significantes menores requisitos de

[249] Entendido en el marco de los incentivos económicos del minado, los mineros continúan invirtiendo mientras el ingreso supere el coste marginal. El sistema converge así hacia un equilibrio económico, no técnico, en el que el gasto energético agregado tiende a alinearse con el precio del criptoactivo y la rentabilidad del minado (Stieger & Zoller, 2022).

hardware de PoS, este requiere de mucha menos energía que PoW (Stonberg, 2021). No obstante, esta mayor eficiencia energética no es neutral desde un punto de vista económico por cuanto se introducen riesgos de otra índole, entre los que destaca la concentración del poder de validación en grandes tenedores de criptoactivos. Si bien existe un debate significativo, PoS presenta riesgos de concentración de poder financiero que pueden facilitar la comisión de abusos de mercado. En este sentido, se introduce el concepto de MEV (*i.e.* "*Maximum Extractable Value*"), referido a la ganancia extraída por los mineros o validadores en la ordenación de las transacciones en un bloque. Por mucho que pueda resultar útil en la corrección de precios, también puede derivar en "ataques sándwich" que extraen dinero ilegítimamente a los usuarios (Binance, 2025). El MEV se origina en la propia estructura descentralizada de *blockchain*, aunque existen diferencias relevantes entre PoW y PoS en la forma en que se manifiestan los costes sistémicos de esta práctica. En PoW, cuando el MEV supera la recompensa base del minado, los incentivos económicos pueden llevar a los mineros a intentar reorganizar bloques pasados para capturar dicho valor, debilitándose así la inmutabilidad del registro y alterándose los incentivos de seguridad del sistema (ESMA, 2025). En PoS, el MEV se reconfigura y se integra de forma estructural en el protocolo, dando lugar a mecanismos organizados de extracción de valor que plantean riesgos de concentración, falta de transparencia y estabilidad. En suma, el MEV genera externalidades comunes a ambos modelos de consenso, aunque las mismas son particularmente visibles en PoS. Puntualizar que, si bien los DEXs presentan un mayor grado de transparencia, su arquitectura descentralizada los expone a nuevas formas de abuso de mercado, como el MEV o la manipulación de oráculos, que contrastan con las observadas en los CEXs, más próximas a las prácticas abusivas propias del mercado financiero tradicional (Orga Casao, 2025).

En una segunda instancia, aclarar que *blockchain* no es un sistema auto-sostenido, más bien una infraestructura que requiere una operación continua para garantizar su seguridad, viabilidad y disponibilidad (Abaccus Technologies, s.f.). En este contexto, los incentivos económicos a los validadores y mineros resultan esenciales para asegurar la participación constante en la validación de transacciones, el mantenimiento de nodos y la preservación del consenso. Por ende, *blockchain* presenta una dependencia estructural de recompensas económicas continuas, las cuales deberán adicionarse a otros costes recurrentes como la infraestructura de nodos, la monitorización de la red, las actualizaciones de código y la gestión de seguridad. La descentralización no elimina los costes de mantenimiento, sino que los redistribuye y hace permanentes, condicionando así la sostenibilidad económica del sistema. A este respecto, el 6 de enero de 2026 se advirtió de que minar Bitcoin es un 41 % más caro que comprarlo, lo que genera serias dudas desde una óptica del mantenimiento de su red (TradingView, 2026).

En última instancia, los problemas de escalabilidad constituyen un límite estructural de la tecnología *blockchain*. Este último deriva de su funcionamiento como libro mayor distribuido, en el que la validación y sincronización de transacciones exige una coordinación continua entre los nodos de la red. Ello provoca que, a medida que aumenta

el número de usuarios y el volumen de transacciones, los costes operativos tienden a incrementarse, especialmente en sistemas con altos niveles de descentralización (Alshahrani, y otros, 2023). Esta dinámica genera una congestión de la red, dado el número limitado de transacciones que pueden procesarse en cada bloque, lo que alarga los tiempos de confirmación y encarece las transacciones. En consecuencia, estas últimas entran en competencia por un recurso escaso – el espacio disponible en los bloques –, debiendo ofrecer los usuarios comisiones más altas para que sus transacciones sean incluidas antes que otras. El aumento del uso de *blockchain* no reduce costes pues, a diferencia de las infraestructuras técnicas centralizadas empleadas por el sistema financiero tradicional, estos tienden a incrementarse.

Subrayar que, el consumo energético asociado a determinados diseños de *blockchain* se identifica como una externalidad negativa, en la medida en que es un coste social no asumido de forma proporcional por todos los beneficiarios del sistema. Los impactos energéticos y ambientales se desplazan parcialmente hacia la sociedad en su conjunto, sin quedar plenamente internalizados en las decisiones económicas de los participantes. Ello corrobora la necesidad de analizar *blockchain* desde su sostenibilidad económica y social como infraestructura financiera.

V. ¿Quién paga el Coste? Distribución Económica de las Externalidades

Habiendo analizado los costes de la infraestructura *blockchain*, se pretende determinar cómo se distribuyen realmente aquellos y quién los acaba soportando.

Sin embargo, primero deben identificarse los agentes clave en el ecosistema de *blockchain*, cada uno de los cuales asume y traslada cargas de forma diferenciada. En primer lugar, los usuarios comprenden a las personas y empresas que interactúan con *blockchain* para realizar transacciones, utilizar DApps o para tener criptoactivos. La participación de estos es, por tanto, la que activa la demanda y determina la relevancia de la red (Stripe, 2025). En segundo lugar, los inversores – entre los que se incluyen a los proveedores de liquidez – contribuyen aportando los recursos financieros necesarios para sostener el intercambio, la financiación y el funcionamiento de los mercados descentralizados. Esto, con la expectativa de obtener rendimientos a través de comisiones u otra índole de incentivos económicos. En tercer lugar, los validadores o mineros, desempeñan una función esencial en la verificación transacciones y en la seguridad de la red, ya sea aportando capacidad computacional o mediante la inmovilización de criptoactivos. Finalmente, la sociedad en general constituye el marco económico y social en el que se inserta *blockchain*, en tanto que infraestructura que se desarrolla y opera dentro de un entorno más amplio que trasciende a sus participantes directos.

Dicho esto, el traslado de costes asociados al funcionamiento de *blockchain* se articula esencialmente a través de tres mecanismos interrelacionados. Por una parte, las comisiones de transacción constituyen el canal más visible, en tanto que los usuarios

deben pagar tarifas para que sus operaciones sean incluidas y confirmadas en la red (Binance, 2026). Estas últimas cumplen una doble función de seguridad al elevar el coste del envío indiscriminado de transacciones, al tiempo que operan como un mecanismo de compensación económica para mineros y validadores. Como ya fue introducido, en escenarios de elevada actividad, la capacidad limitada de procesamiento de la red provoca un incremento de las tarifas, lo que equivale a un mayor coste de uso del sistema. Por otra parte, los subsidios en bloque consisten en la emisión de nuevos *tokens* que se otorgan a mineros y validadores. Estos son predeterminados por el propio protocolo y constituyen un mecanismo para introducir nuevas unidades en circulación, así como garantizar incentivos suficientes para la validación de transacciones (Nervos Network, 2024). No obstante, puede afirmarse que se traslada el coste del funcionamiento al conjunto de los tenedores del activo mediante un efecto inflacionario. Señalar que los dos mecanismos expuestos componen las denominadas recompensas de bloques, las cuales aseguran el mantenimiento y la seguridad de *blockchain*. Finalmente, el funcionamiento del sistema implica un impacto asociado al consumo de recursos, particularmente en el caso de PoW. En consecuencia, parte del coste energético necesario para asegurar la red no se refleja íntegramente en las tarifas individuales, sino que se proyecta más allá. En otras palabras, el precio que paga cada usuario por una transacción no incorpora todo el coste real que implica que *blockchain* sea seguro.

A la luz de los mecanismos descritos, cabe afirmar que los costes operativos en *blockchain* son inherentemente volátiles, al depender de factores dinámicos como la congestión de la red, la demanda de procesamiento y la evolución del propio protocolo (Cartesian Digital, s.f.). Como ya se introdujo, procede también plantearse si el diseño económico de *blockchain* internaliza adecuadamente los costes o, por el contrario, depende de que estos recaigan en terceros. La referida internalización ha sido ampliamente cuestionada pues, lejos de eliminar los costes, *blockchain* tiende a desplazar parte de sus efectos negativos hacia terceros ajenos a las transacciones en cadena (Martino & Ringe, 2025). Aunque la descentralización pueda reducir determinados costes de transacción, como se verá *a posteriori*, la tecnología genera externalidades que no pueden ser absorbidas por los propios participantes, especialmente las de naturaleza ambiental, económica y sistémica. Estas últimas no pueden internalizarse mediante acuerdos privados ni mediante el protocolo, y ello se debe a que no se cumplen las condiciones del marco coaseano[250]. A este respecto, los costes de transacción no son bajos y la asignación de derechos y responsabilidades frente a terceros resulta incompleta o ambigua. Martino & Ringe afirman que ello revela una externalización estructural hacia la sociedad, lo que conlleva a cuestionar la eficiencia global del sistema. Desde una perspectiva de sostenibilidad económica, un sistema que no logra internalizar los costes sociales que genera difícilmente puede mantenerse de forma eficiente a largo plazo. Ello justifica la

[250] Proveniente del Teorema de Coase, propuesto por Ronald Coase, según el cual, cuando los derechos de propiedad están claramente definidos y los costes de transacción son bajos, las partes afectadas pueden negociar entre sí y alcanzar una asignación eficiente de los recursos (Roldán, 2020). En el caso de blockchain, estos presupuestos no se cumplen plenamente, lo que dificulta que los costes generados por el sistema sean internalizados de forma espontánea por el propio mercado

intervención del Derecho como mecanismo corrector de antedichas ineficiencias y como instrumento para promover una distribución más equilibrada de costes y beneficios.

Junto a los costes técnicos y económicos analizados, no puede obviarse que la expansión de los mercados de criptoactivos genera costes regulatorios e institucionales adicionales, los cuales derivan de la necesidad de una supervisión pública reforzada. La ausencia de un marco normativo claro y unificado ha obligado a las autoridades a adaptar y ampliar los marcos regulatorios tradicionales. Esto último conlleva costes significativos en términos de diseño normativo, capacidades institucionales y recursos de supervisión (Ogedengbe, y otros, 2024). A la fragmentación regulatoria se suman la complejidad técnica y la opacidad de determinados mecanismos, lo que incrementa significativamente los costes de cumplimiento para los operadores. Si bien estos costes se imputan formalmente a los operadores, sus consecuencias se extienden al conjunto del mercado. Esto es, al dificultar la entrada de nuevos competidores, favorecer la concentración del mercado en unos pocos operadores, y reducir la presión competitiva real. Lo expuesto adquiere especial relevancia en el ámbito de la protección del inversor, donde las asimetrías informativas, la elevada volatilidad y la proliferación de prácticas abusivas en los mercados cripto intensifican el riesgo de mercado, el cual acaba materializándose como un coste social indirecto. En la medida en que la mitigación de antedicho riesgo requiere de una intervención pública creciente para preservar la integridad del mercado y la confianza sistémica, parte de los costes asociados al funcionamiento de estos mercados recaen, en última instancia, sobre las instituciones y la sociedad en su conjunto.

VI. Comparación Económica: Pagos Tradicionales vs. Pagos en *Blockchain*

Llegados a este punto, se aborda el contraste entre la eficiencia económica de *blockchain* y la del sistema financiero tradicional.

Por un lado, el coste de procesar un pago en el sistema financiero tradicional descansa sobre una infraestructura centralizada. Esta última se articula en torno a redes bancarias y de corresponsalía que permiten aprovechar economías de escala y ofrecer una estructura de costes relativamente estable en el tiempo (Guo, 2024). Sin embargo, requiere de una mayor lentitud operativa y la intervención de múltiples intermediarios. Dicha estabilidad de costes se apoya, además, en infraestructuras altamente estandarizadas, como los sistemas de mensajería financiera (*ad ex* SWIFT[251]) y los sistemas de liquidación bruta en tiempo real, que permiten procesar grandes volúmenes de pagos de forma predecible. Pese a ello, esta arquitectura implica costes fijos elevados, provenientes del mantenimiento de las redes de corresponsalía, del cumplimiento normativo (*vid*., KYC/AML), y de los procesos de reconciliación entre entidades. Por mucho que antedichos costes puedan diluirse gracias a economías de escala, no desaparecen.

[251] Entendida como "Sociedad de Telecomunicaciones Financieras Interbancarias Mundiales", la cual se refiere a una red global cooperativa que permite a más de 11.000 instituciones financieras en más de 200 países intercambiar mensajes de pago de forma segura y estandarizada (Stripe, 2026).

Adicionalmente, la intervención de múltiples intermediarios introduce fricciones operativas y temporales, especialmente visibles en pagos transfronterizos, donde los husos horarios, las revisiones regulatorias y los controles de cumplimiento pueden retrasar la liquidación final incluso varios días.

Por otro lado, los pagos basados en *blockchain* se realizan sobre infraestructuras descentralizadas en las que el coste de cada transacción depende de comisiones variables, y de un coste energético implícito, vinculado al mantenimiento del sistema y a los mecanismos de consenso (Guo, 2024). Antedichas comisiones se determinan en función de la congestión de la red y de la prioridad que los usuarios asignan a sus transacciones. Como ya ha sido analizado, las transacciones se procesan sobre una capacidad limitada de la red, lo que implica que no todas pueden ser incluidas de manera inmediata. Los usuarios pueden pues incrementar la comisión para aumentar la probabilidad de validación. En definitiva, los costes de pago no son fijos al estarse ante una estructura de costes fluctuantes inherente al funcionamiento del sistema.

Las diferencias estructurales entre ambos sistemas se reflejan en el coste unitario por transacción, el cual puede resultar inferior en *blockchain* en ciertos contextos, como los de pagos transfronterizos o aquellos realizados fuera del horario bancario (Guo, 2024). Pese a ello, el coste de las transacciones en *blockchain* es altamente variable, lo que se contrapone a la previsibilidad propia de los sistemas tradicionales. En adición a ello, las infraestructuras bancarias consolidadas presentan una alta escalabilidad, la cual permite procesar grandes volúmenes de transacciones de forma consistente. En cambio, *blockchain* se enfrenta a limitaciones de rendimiento, que pueden generar congestión y encarecer las transacciones a medida que aumente la actividad. Esto es, sobre todo en el caso de modalidad *permissionless*, cuya arquitectura abierta y descentralizada agrava los problemas de escalabilidad y volatilidad de costes (Péter & Adrián Szilárd, 2024). En consecuencia, por mucho que *blockchain* pueda ofrecer ventajas puntuales en términos de rapidez y costes directos, su estabilidad de costes y escalabilidad siguen siendo inferiores a las de los sistemas de pago tradicionales, lo que condiciona su viabilidad como infraestructura generalizada de pagos. En relación al consumo energético, algún informe ya ha señalado que tanto el sistema bancario tradicional, como la extracción y gestión del oro, "consumen cada uno mucha más energía que la red de Bitcoin" (elEconomista, 2021). Desde esta óptica, y aun considerando el mecanismo PoW, se ha argumentado que el consumo energético de Bitcoin no resulta necesariamente desproporcionado en términos comparativos. Además, hay estudios que indican que "el uso de fuentes de energía sostenibles para la minería de Bitcoin ha crecido al 52,4%" (Neumueller, y otros, 2025). Lo expuesto parece debilitar las críticas del consumo energético de *blockchain*, aunque debe interpretarse con cautela al utilizarse metodologías heterogéneas en los informes existentes.

A lo anterior debe añadirse una consideración relevante desde una perspectiva funcional y económica. Si bien la hegemonía de *blockchain* en tanto que infraestructura subyacente

implica costes elevados, lo cierto es que presenta como ventaja estructural su carácter interoperable. Esto es, en la medida en que permite la circulación de criptoactivos sobre una infraestructura común y potencialmente global. Sin embargo, a día de hoy, antedicha interoperabilidad no parece haber sido lo suficiente como para que los criptoactivos alcancen una implantación significativa como medio de pago. Para que un activo digital pueda cumplir, de forma efectiva, la función monetaria de medio de cambio debe alcanzar una equivalencia funcional con el dinero bancario y el dinero electrónico (Suárez Puga, 2021). Esto último exige una aceptación generalizada, estabilidad de valor y un marco institucional que garantice su uso en operaciones lícitas. Pese al desarrollo de mercados secundarios altamente líquidos, los criptoactivos operan predominantemente como activos de inversión o reservas de valor, sin consolidarse como unidad de cuenta ni patrón general de precios. Por ende, no están sustituyendo al dinero electrónico bancario ni a las infraestructuras de pago tradicionales, sino que parecen más bien coexistir con estas desde una lógica funcional distinta. Lo expuesto constituye un extremo determinante para evaluar comparativamente sus costes y su eficiencia económica.

Desde una óptica de protección del inversor e integridad del mercado, los mercados de criptoactivos presentan vulnerabilidades estructurales que no se reproducen con la misma intensidad en los mercados financieros tradicionales. La arquitectura descentralizada, la operativa en cadena y la ausencia de intermediarios responsables dificultan la detección y prevención *ex ante* de conductas abusivas (Barczentewicz & de Gândara Gomes, 2023). En consecuencia, se incrementa la exposición de los inversores a prácticas como la manipulación de mercado, el uso indebido de información privilegiada, así como determinadas estrategias de extracción de valor (*ad ex* MEV). A este respecto, en la UE MiCA introduce, en su Título VI, un régimen de abuso de mercado que se inspira en el marco tradicional (*vid*., *Market Abuse Regulation*). De esta manera, busca reforzar la integridad de los mercados de criptoactivos y ofrecer un nivel mínimo de protección a los inversores, aunque antedicha traslación regulatoria resulta incompleta y genera significativas áreas de incertidumbre jurídica. A raíz de las referidas limitaciones, el correcto funcionamiento de los mercados de criptoactivos pasa a depender en mayor medida de un mecanismo *ex post*. Este se caracteriza por un conjunto de supervisión administrativa, investigación de conductas ilícitas e imposición de sanciones, que actúa como sustituto de los mecanismos de control *ex ante* propios del mercado financiero tradicional. De esta forma, se generan costes regulatorios adicionales y se refuerza el papel de las instituciones en el funcionamiento económico de este tipo de mercados. Del mismo modo, la SEC[252] ha mantenido el foco en la proliferación de fraudes, fallos de gobernanza y vacíos regulatorios que han caracterizado el desarrollo de los mercados de criptoactivos. Hasta la aprobación del *Genius Act* el 18 de julio de 2025, EE.UU. carecía de habilitación expresa por parte del Congreso para regular los criptoactivos. En vista de tal carencia, la SEC adoptó una estrategia de "*regulation by enforcement*" en virtud de la cual utilizaba acciones sancionadoras *ex post* para aplicar las leyes federales de valores existentes. El actual enfoque regulatorio estadounidense, basado en actuaciones *ex post*,

[252] Entendida como la *Securities Exchange Comission* de Estados Unidos.

se considera insuficiente y estructuralmente inestable, lo que ha llevado a reclamar habilitaciones legislativas orientadas a dotar de un marco claro a los criptoactivos, reforzar la protección del inversor y reducir los costes sociales derivados del fraude y de la incertidumbre jurídica (Trautman, Elzweig, & Newman, 2024).

Desde una perspectiva funcional, *blockchain* aporta ventajas reales en aquellos contextos en que los sistemas financieros tradicionales presentan mayores fricciones. Estos últimos son, especialmente, en los pagos transfronterizos, las transferencias continuas fuera del horario bancario, y los entornos que requieren mayor transparencia y automatización (Binance, 2025). En estos casos la eliminación de intermediarios, la liquidación prácticamente inmediata, y la programabilidad vía *smart contracts*, permiten reducir los tiempos de procesamiento y determinados costes operativos. Esto es, particularmente cuando *blockchain* se apoya en instrumentos como las *stablecoins* y en soluciones técnicas complementarias que permiten mitigar su volatilidad y sus limitaciones operativas. No obstante, las referidas ventajas no son universales ni aplican automáticamente. La escalabilidad limitada de la red; la volatilidad de las comisiones; y la necesidad de apoyarse en infraestructuras adicionales para superar sus limitaciones técnicas, dificultan una adopción de *blockchain* como sistema de pagos de uso generalizado. Adicionalmente, la adopción de pagos en *blockchain* sigue condicionada por otros factores tales como la volatilidad de los criptoactivos, ciertos problemas de interoperabilidad entre redes, las barreras técnicas y la incertidumbre regulatoria (Thunes, 2025). En definitiva, por mucho que *blockchain* puede generar mejoras económicamente relevantes en contextos específicos y acotados, su ventaja competitiva frente a infraestructuras financieras tradicionales no resulta estructural, sino más bien contingente y dependiente del contexto institucional, técnico y regulatorio.

VII. Valoración Crítica y Conclusiones

El estudio realizado permite responder a la hipótesis planteada sobre si la tecnología *blockchain* mejora realmente la eficiencia económica del sistema financiero.

Del lado de los costes, los mecanismos de consenso incorporan un consumo energético estructural vinculado a la seguridad del sistema, el cual se manifiesta como una externalidad negativa no plenamente internalizada. Se añaden los costes permanentes del mantenimiento de la red, que derivan de la necesidad de incentivos económicos continuos para validadores y mineros. Existen, además, limitaciones de escalabilidad que generan congestión y encarecimiento de las transacciones en escenarios de alta demanda. Se dan también costes regulatorios e institucionales crecientes, asociados a la supervisión pública reforzada y a la protección de los inversores, cuyos efectos se proyectan como costes sociales indirectos. Finalmente, se han identificado externalidades económicas y sistémicas, como la concentración del poder de validación y determinadas prácticas de extracción de valor, las cuales ponen en duda la eficiencia global de *blockchain*.

Del lado de los beneficios, *blockchain* aporta ventajas reales, aunque estas son limitadas y contextuales. Destacan la reducción de intermediación; concretas mejoras en pagos transfronterizos y transferencias continuas; así como la automatización y transparencia asociadas a los *smart contracts*. A pesar de ello, el análisis deja entrever que antedichos beneficios no son universales ni automáticos. En su lugar, dependen de condiciones técnicas y regulatorias específicas, al igual que del uso de infraestructuras complementarias que mitiguen las limitaciones propias de *blockchain*.

Desde una evaluación coste-eficiencia global, los beneficios observados no parecen compensar de forma general los costes energéticos, estructurales y sistémicos asociados a la infraestructura *blockchain*. La mejora en eficiencia económica que esta tecnología pueda ofrecer es, por ende, contingente y no estructural. En consecuencia, no puede identificarse a *blockchain*, al menos en su configuración actual, como una infraestructura que mejore de manera generalizada la eficiencia del sistema financiero tradicional. Ello se refuerza por el hecho de que, pese a su interoperabilidad, los criptoactivos no han logrado una implantación relevante como medio de pago y siguen operando, principalmente, como activos de inversión. En este contexto, la regulación contribuye a mitigar determinados riesgos – especialmente en materia de protección de inversores e integridad del mercado –, aunque de momento es incapaz de resolver los problemas de internalización de costes y sostenibilidad económica derivados del diseño tecnológico de *blockchain*.

En conclusión, la sostenibilidad futura de los mercados de criptoactivos dependerá de la capacidad de articular un diseño tecnológico más eficiente, junto con un marco regulatorio que internalice adecuadamente los costes sociales generados.

Bibliografía

Abaccus Technologies. (s.f.). *How much does it cost to mantain a blockchain?* Obtenido de Abbacus Technologies: https://www.abbacustechnologies.com/how-much-does-it-cost-to-maintain-a-blockchain/

Alshahrani, H., Islam, N., Syed, D., Sulaiman, A., Saleh Al Reshan, M., Rajab, K., . . . Soomro, A. (2023). Sustainability in Blockchain: A Systematic Literature Review on Scalability and Power Consumption Issues. *Energies (MDPI)*.

Banco de España. (2024). Facilitadores de la innovación 2.0: impulsando la innovación financiera en la era fintech. *Documentos Ocasionales*.

Banco de España. (2025). *Informe de Estabilidad Financiera. Primavera 2025.* Banco de España.

Barczentewicz, M., & de Gândara Gomes, A. (2023). Crypto-Asset Market Abuse Under EU MiCA. *SSRN*.

Binance. (21 de Octubre de 2025). *Blockchain: Infraestructura financiera de próxima generación*. Obtenido de Blog Binance Square: https://www.binance.com/es/square/post/31298668096905

Binance. (13 de Diciembre de 2025). *¿Qué es el Valor Máximo Extraíble (MEV)?* Obtenido de Binance - Academy: https://www.binance.com/es/academy/articles/what-is-maximal-extractable-value-mev

Binance. (18 de enero de 2026). *¿Qué son las tarifas de transacción de blockchain?* Obtenido de Binance Square: https://www.binance.com/es/square/post/34927260326969

Cachanosky, I. (2012). Eficiencia técnica, eficiencia económica y eficiencia dinámica. *Dialnet*, 51-80.

Cartesian Digital. (s.f.). *¿Por qué los costes operativos de blockchain son difíciles de predecir?* Obtenido de Blog Cartesian Digital: https://o-cfodigital.io/blog/why-blockchain-operational-costs-hard-to-predict

Coinbase. (s.f.). *Prueba de trabajo (PoW) vs. Prueba de participación (PoS): ¿cuál es la diferencia?* Obtenido de Coinbase: Crypto Basics: https://www.coinbase.com/es-es/learn/crypto-basics/proof-of-work-pow-vs-proof-of-stake-pos-what-is-the-difference

Dommari, S., & Vashishtha, S. (2025). Blockchain-Based Solutions for Enhancing Data Integrity in Cibersecurity Systems. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 1431-1454.

elEconomista. (17 de Mayo de 2021). ¿Quién gasta más energía? Un estudio asegura que el sistema bancario y el oro consumen cada uno el doble que el bitcoin. *elEconomista*.

ESMA. (2025). *Maximum Extractable Value Implications for crypto markets.* ESMA: Financial Innovation.

Financial Stability Board. (2025). *Thematic Review on FSB Global Regulatory Framework for Crypto-asset Activities.* FSB.

García Mexía, P. (2023). *Criptoderecho: la regulación de Blockchain (2ª edición).* Wolters Kluwer España La Ley.

Guo, J. (2024). A Comparative Study of Blockchain Transaction Systems vs. Traditional Cross-Border Payment Networks. *SSRN*.

Helbling, T. (2010). ¿Qué son las externalidades? Lo que ocurre cuando los precios no reflejan del todo los costos. *IMF: Vuelta a lo esencial - ¿Qué son las externalidades?*, 48-49.

Khan, R. (10 de Enero de 2025). Integración De Blockchain: Las Innovaciones Digitales Que Remodelan Las Finanzas. *Forbes*.

Martino, E. D., & Ringe, W. G. (2025). The Social Cost of Blockchain: Externalities, Allocation of Property Rights, and the Role of the Law. *Cambridge University Press*.

Nervos Network. (15 de Enero de 2024). *¿Cuál es la diferencia entre Block Subsidy y Block Reward?* Obtenido de Nervos: Knowledge base: https://www.nervos.org/es/knowledge-base/difference_block_subsidy_block_reward_(explainCKBot)

Neumueller, A., Pieters, G., Mohaddes, K., Rousseau, V., & Zanh, B. (2025). *Cambridge Digital Mining Industry Report: Global Operations, Sentiment, and Energy Use.* Cambridge Centre for Alternative Finance.

Ogedengbe, A., Ogayomi, A., Okesiji, A., Omusule, A., & Oyasiji, O. (2024). US Regulations of Blockchain/Cryptocurrency: Navigating the Complex Landscape of Regulatory Compliance in Digital Asset Markets. *International Journal of Scientific Research and Modern Technology (IJSRMT)*, 82-98.

Orellana Nirian, P. (1 de Julio de 2020). *Sostenibilidad Económica*. Obtenido de Economipedia: https://economipedia.com/definiciones/sostenibilidad-economica.html

Orga Casao, D. (10 de Octubre de 2025). TFM: Riesgos de mercado de los criptoactivos. (E. M. Gautier, Entrevistadora)

Pavet, J. A., & Castillo, S. (2009). Integridad y Manipulación en el Mercado de Valores. *Dialnet*.

Péter, N., & Adrián Szilárd, N. (2024). SLR About the Costs of Private Blockchain Technology for Businesses. *Economica*, 22-33.

Roldán, P. N. (1 de Marzo de 2020). *Teorema de Coase*. Obtenido de Economipedia: https://economipedia.com/definiciones/teorema-de-coase.html

Serra Puente-Arnao, G. (2009). La Regulación en los Mercados Financieros. *Dialnet*, 102-112.

Stieger, R., & Zoller, V. (2022). Blockchain Pow and Pos Energy Consumption and its Environmental Impact. *SSRN*.

Stonberg, S. (17 de Junio de 2021). *How blockchain and cryptocurrencies can help build a greener future*. Obtenido de World Economic Forum: Emerging Technologies: https://www.weforum.org/stories/2021/06/how-blockchain-and-cryptocurrencies-can-

help-build-a-greener-future/#:~:text=This%20can%20be%20seen%20with,their%20own%20versions%20of%20PoS.

Stripe. (8 de Diciembre de 2025). *Explicación del ecosistema blockchain: cómo crecen, se conectan y crean valor las redes descentralizadas*. Obtenido de Stripe: https://stripe.com/es/resources/more/blockchain-ecosystem-explained#quienes-son-los-participantes-clave-en-un-ecosistema-de-blockchain

Stripe. (28 de Enero de 2026). *¿Qué es SWIFT? Una guía sobre este sistema bancario internacional*. Obtenido de Stripe: https://stripe.com/es/resources/more/what-is-swift

Suárez Puga, E. A. (2021). Naturaleza y régimen jurídico de las criptomonedas. *InDret*, 383-396.

Tasca, E. (20 de Octubre de 2025). La fiebre por las 'stablecoins' enciende las alarmas de las máximas autoridades monetarias. *CincoDías*.

Thunes. (29 de Julio de 2025). *Cómo la cadena de bloques revoluciona los pagos transfronterizos*. Obtenido de Thunes: https://www.thunes.com/insights/blockchain-cross-border-payments/

TradingView. (23 de Enero de 2026). Conclusiones sobre las criptomonedas en Davos: la política y el dinero chocan. *Blog de TradingView*.

TradingView. (6 de Enero de 2026). *Estudio señala que minar Bitcoin es 41% más caro que comprar BTC*. Obtenido de TradingView: Noticias: https://es.tradingview.com/news/cointelegraph:c38c12de609cd:0/

Trautman, L. J., Elzweig, B., & Newman, N. F. (2024). The SEC, Fraud, and Cryptocurrencies. *SSRN*.

TRM Labs. (2025). *Global Crypto Policy Review & Outlook 2025/26.* TRM Labs.

Tumasjan, A. (2024). The Promise and Prospects of Blockchain-Based Decentralized Business Models. *Knowledge and Digital Technology (ResearchGate)*, 203-224.

Villegas, J. (17 de Enero de 2026). Del "hype" cripto a la innovación real; el "blockchain" como eje de la transformación financiera. *CincoDías*.Award, April 5, 20