



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Blockchain aplicado al sector inmobiliario

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Peris Navarro, Álex

Tutor/a: Llorca Ponce, Alicia

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

RESUMEN

ESPAÑOL

El sector inmobiliario ha sido siempre un sector bastante tradicional, al que le ha costado incorporar nuevas tecnologías, sin embargo, hace poco y, especialmente, a raíz del COVID-19 el proceso de introducción de la tecnología se ha acelerado provocando cambios muy importantes en la actividad del sector. Proptech (tecnología de la propiedad) es el término utilizado para designar una industria emergente que aprovecha las innovaciones tecnológicas para optimizar y agilizar los diversos procesos involucrados en bienes inmuebles. Este trabajo tiene como objetivo explorar una de las tecnologías que se engloban dentro del Proptech, el Blockchain, dentro del sector inmobiliario. El blockchain posibilita realizar transacciones de forma segura, transparente y rápida, con un riesgo reducido de fraude y error. Esta tecnología también puede ser relevante a la hora de gestionar las propiedades y crear un sistema más transparente y seguro para la financiación colectiva de inversiones inmobiliarias. Mediante el uso de contratos inteligentes basados en blockchain, los inversores pueden tener un mayor control sobre sus inversiones, al tiempo que reducen la necesidad de intermediarios. Por último, permite el fraccionamiento de las propiedades gracias a la Tokenización (creación de porciones digitales de los inmuebles), haciendo el sector más accesible para inversores minoritarios.

VALENCIÀ

El sector immobiliari ha sigut sempre un sector bastant tradicional, al qual li ha costat incorporar noves tecnologies, no obstant això, fa poc i, especialment, arran del COVID-19 el procés d'introducció de la tecnologia s'ha accelerat provocant canvis molt importants en l'activitat del sector. Proptech (tecnologia de la propietat) és el terme utilitzat per a designar una indústria emergent que aprofita les innovacions tecnològiques per a optimitzar i agilitzar els diversos processos involucrats en béns immobles. Aquest treball té com a objectiu explorar una de les tecnologies que s'engloben dins del Proptech, el Blockchain, en el sector immobiliari. El blockchain possibilita realitzar transaccions de manera segura, transparent i ràpida, amb un risc reduït de frau i error. Aquesta tecnologia també pot ser rellevant a l'hora de gestionar les propietats i crear un sistema més transparent i segur per al finançament col·lectiu d'inversions immobiliàries. Mitjançant l'ús de contractes intel·ligents basats en blockchain, els inversors poden tindre un major control sobre les seues inversions, al mateix temps que reduïxen la necessitat d'intermediaris. Finalment, permet el fraccionament de les propietats gràcies a la Tokenizació (creació de porcions digitals dels immobles), fent el sector més accessible per a inversors minoritaris.

ENGLISH

The real estate sector has always been a fairly traditional sector that has struggled to incorporate new technologies. However, recently, and especially in the wake of COVID-19, the process of introducing technology has accelerated, leading to significant changes in the sector's activities. Proptech (property technology) is the term used to refer to an emerging industry that leverages technological innovations to optimize and streamline the various processes involved in real estate. This paper aims to explore one of the technologies encompassed within Proptech, the Blockchain, inside the real estate sector. Blockchain enables secure, transparent and fast transactions with a reduced risk of fraud and error. This technology can also be relevant in managing properties and creating a more transparent and secure system for crowdfunding real estate investments. Through the use of blockchain-based smart contracts, investors can have greater control over their investments while reducing the need for intermediaries. Finally, it allows for the fractionalization of properties through Tokenization (the creation of digital portions of properties), making the sector more accessible to minority investors.

PALABRAS CLAVE*ESPAÑOL*

Blockchain, sector inmobiliario, transacciones inmobiliarias, tokenización, contratos inteligentes.

VALENCIÀ

Blockchain, sector immobiliari, transaccions immobiliaries, tokenització, contractes intel·ligents.

ENGLISH

Blockchain, real estate, real estate transactions, tokenization, smart contracts.



ÍNDICE

OBJETIVOS	4
CONTRIBUCIÓN A LOS ODS	4
METODOLOGÍA	6
INTRODUCCIÓN	8
Parte 1: BLOCKCHAIN	10
1. Blockchain. Concepto.	10
2. Origen y evolución del Blockchain	10
3. Arquitectura del blockchain	12
3.1. Bloques	15
3.2. Hashing y Árboles de Merkle	16
3.3. Mecanismos de consenso	17
3.4. Red P2P (Peer-to-Peer)	20
3.5. Transacciones	20
3.6. Criptografía de claves	21
3.7. Smart Contracts o Contratos Inteligentes	21
4. Aplicaciones del blockchain	24
Parte 2: APLICACIONES DEL BLOCKCHAIN AL SECTOR INMOBILIARIO	27
5. Blockchain en la Construcción	27
5.1. Procesos proyectuales	27
5.2. Cadena de suministro	28
5.3. Certificación energética de edificios y Sostenibilidad	28
6. Blockchain en el Sector Inmobiliario	29
6.1. Registro inmobiliario público	29
6.2. Transacciones inmobiliarias	30
6.3. Análisis y Estudios de mercado	31
6.4. Inversión inmobiliaria y Tokenización	32
CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47



OBJETIVOS

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal el dar a conocer qué es la tecnología blockchain, cómo se implanta y qué posibles aplicaciones presentes y futuras tiene para el sector inmobiliario y los diferentes agentes que lo forman.

Se pretende que, aquel que esté interesado en aplicar esta tecnología, adquiera un amplio conocimiento sobre cómo funciona y qué partes la forman, las aplicaciones generales que puede tener para diferentes sectores dadas sus características de transparencia, seguridad y eficiencia, los retos a los que se enfrenta el sector inmobiliario y las aplicaciones que el blockchain puede tener en él, identificando, a su vez, las posibles ventajas e inconvenientes o limitaciones que tendría su uso.

CONTRIBUCIÓN A LOS ODS

Con este estudio, se pretende, también, revisar la contribución a los ODS (*Objetivos de Desarrollo Sostenible*) que tendría la implementación de la tecnología blockchain en el sector inmobiliario. Esta tendría la capacidad de contribuir a los ODS de varias maneras.

ODS 1 – FIN DE LA POBREZA

Puede facilitar el acceso seguro y transparente a la propiedad para personas en situación de vulnerabilidad, reduciendo la corrupción y fraudes en el registro de propiedad, y, mediante contratos inteligentes, mejorar la financiación para que más personas puedan adquirir viviendas.

ODS 2 – HAMBRE CERO

Optimizaría la gestión y el uso de la tierra, asegurando que las tierras agrícolas se utilicen de manera eficiente y sostenible.

ODS 3 – SALUD Y BIENESTAR

Se podría certificar la calidad y sostenibilidad de los materiales de construcción.

ODS 5 – IGUALDAD DE GÉNERO

Facilitar el acceso a la propiedad puede empoderar a las mujeres y garantizar sus derechos sobre la tierra y vivienda.



ODS 9 – INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA

Se fomentaría la innovación y eficiencia en la construcción, incluyendo métodos sostenibles y tecnologías verdes.

ODS 11 – CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES

Habría registros de propiedad inmutables y los contratos inteligentes podrían facilitar acuerdos de alquiler justos y transparentes, promoviendo la inclusión y el acceso a la vivienda.

ODS 12 – PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES

El blockchain puede rastrear el origen y todos los procesos por los que pasan los materiales hasta su recepción final, asegurando prácticas sostenibles y responsables.

ODS 13 – ACCIÓN POR EL CLIMA

Se podría fomentar la construcción de edificios más eficientes y sostenibles creando mecanismos de certificación y seguimiento del rendimiento energético de los propios.

ODS 16 – PAZ, JUSTICIA E INSTITUCIONES SÓLIDAS

La transparencia e inmutabilidad de esta tecnología ayudaría a reducir la corrupción en el sector inmobiliario.

ODS 17 – ALIANZAS PARA LOGRAR OBJETIVOS

El blockchain facilita la colaboración entre diversas partes interesadas (gobiernos, ONG's y el sector privado) para alcanzar metas comunes de sostenibilidad y desarrollo urbano.



METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo, se ha hecho una revisión sistemática de la literatura existente sobre el blockchain, las aplicaciones generales que tiene, el sector inmobiliario y las diferentes aplicaciones que puede tener el blockchain dentro del sector inmobiliario. Para ello, se han hecho búsquedas con los términos “Blockchain”, “Blockchain applications”, “Blockchain security”, “Blockchain and Real Estate”, “Smart contracts”, “Blockchain and Financial sector”, “Blockchain and Healthcare”, “Blockchain and Energy sector”, “Blockchain and Arts”, “Blockchain and Education”, “Blockchain and Logistics”, “Blockchain and Public services”, “Real estate”, “Real estate challenges”, “Blockchain and Architecture design” y “Blockchain and Construction supply chain” en bases de datos como WOS (*Web Of Science*), Google Scholar, Scopus, etc. A su vez, se han hecho búsquedas en diferentes páginas web como cointelegraph, ethereum.org, cardano.org, ieeexplore, SpringerLink, etc. Cabe mencionar que se han hecho búsquedas con la inteligencia artificial de ChatGPT para conceptos más genéricos, verificando después la información en diferentes artículos.

En WOS (plataforma principal utilizada para la búsqueda) la literatura académica sobre blockchain en el sector inmobiliario aparece desde el año 2017, incrementándose (excepto el año pasado, 2023) el número de publicaciones cada año, dato que demuestra el creciente interés sobre esta tecnología en el sector, pasando de 8 publicaciones el año 2017 a 15 en 2018, 25 en 2019, 37 en 2020, 46 en 2021, 54 en 2022, 40 en 2023 y 13 en 2024 (a fecha de Julio de 2024), es decir, hay un total de 238 artículos. Una vez teniendo hecho el listado de los artículos existentes, se han leído los resúmenes de los artículos para clasificarlos y elegir los que tenían más potencial de ser utilizados para la investigación, quedando 127 artículos finalmente.

A continuación, se mostrará la clasificación de los artículos en la que se detallarán los diferentes conceptos y el número de artículos visionados dentro de cada uno.

CONCEPTO	Nº de ARTÍCULOS
Blockchain y aplicaciones	14
Blockchain en Real estate	13
Smart contracts	15
Transacciones inmobiliarias en blockchain	21
Registro inmobiliario público	12
Valor y alquiler de inmuebles	2
Gestión inmobiliaria	5
Tiempo e intermediarios en Real estate	1
Blockchain en el Catastro	2
Tokenización	13
Desafíos y Oportunidades del Blockchain en Real estate	1
Adopción del blockchain en el Sector inmobiliario	1
Blockchain en recursos humanos	2



Blockchain en subastas de inmuebles	4
Blockchain y sostenibilidad en Real estate	3
Blockchain en ciclo de vida de edificios	1
Blockchain en Smart cities	5
Comercio de derechos en altura	1
Registro de datos espaciales	2
Blockchain para estudio de ubicación favorable para inversión inmobiliaria	1
Rastreo/seguimiento de suministros	3
Criptomonedas	4
Blockchain en Préstamos hipotecarios	1
TOTAL:	127

Tabla 1. Tabla que muestra temáticas y número de artículos analizados por temática.

Posteriormente, se han realizado diferentes búsquedas en las mismas plataformas para complementar la información de los capítulos que los requirieran, como por ejemplo “*real estate analysis*” o “*real estate investment*”.



INTRODUCCIÓN

El sector inmobiliario es un pilar fundamental de la economía global, contribuyendo significativamente al PIB y a la generación de empleo. Su impacto en la sociedad es amplio, afectando a la calidad de vida, el desarrollo humano, la estabilidad social, etc. Sin embargo, enfrenta desafíos importantes que deben ser gestionados a través de políticas y prácticas sostenibles y equitativas.

Este trabajo tiene como objetivo demostrar cómo el PropTech, y en particular una de sus ramas más innovadoras, el blockchain, puede ser una herramienta eficaz para superar los desafíos actuales en el sector inmobiliario. Para ello, primero se explicará en detalle en qué consiste la tecnología blockchain, sus principios fundamentales, y cómo se ha ido desarrollando y adaptando a lo largo del tiempo. A continuación, se explorarán las diversas aplicaciones del blockchain en diferentes sectores, incluyendo, pero no limitándose, a la banca, la logística y la salud, ilustrando con ejemplos cómo esta tecnología está transformando estos campos. Finalmente, se analizarán en profundidad las aplicaciones específicas del blockchain dentro del sector inmobiliario, destacando su potencial para mejorar la transparencia, la eficiencia y la seguridad en las transacciones inmobiliarias, así como su capacidad para revolucionar procesos tradicionales como la gestión de propiedades, la financiación de proyectos inmobiliarios y la verificación de la propiedad. Este análisis permitirá entender, no solo las ventajas, sino también los desafíos y limitaciones que enfrenta la implementación de esta tecnología en el mercado inmobiliario, proporcionando una visión comprehensiva de su impacto y su futuro potencial en este sector.

Para entender la importancia que ha tenido y tendrá este sector en el contexto socioeconómico, conviene revisar cómo la tecnología blockchain ha sido en el pasado y hacia dónde se dirigirá en el futuro más cercano, dentro de una sociedad tan cambiante como la actual. Con la aparición de las primeras civilizaciones (*Mesopotamia, Egipto, etc.*) ya se mostraron indicios de primeras propiedades de la tierra. En estas sociedades, la tierra solo podía ser propiedad del estado, la realeza o la nobleza. Sin embargo, los individuos podían mantener derechos sobre ella a través de arriendos o concesiones. En la antigua *Grecia y Roma*, este concepto de propiedad privada de la tierra se desarrolló aún más. El derecho romano, por ejemplo, estableció muchas de las bases para las leyes de propiedad inmobiliaria que se usan hoy en día. Los ciudadanos romanos podían poseer tierras y transmitir las a sus descendientes. Con el surgimiento del feudalismo en Europa, la tierra se convirtió en la base de la economía y el poder social. Se creó una estructura jerárquica alrededor de ella: La tierra era propiedad del señor feudal, quien la concedía a los vasallos a cambio de servicios y lealtades, y estos, a su vez, podían tener campesinos trabajando la tierra bajo su control. El *Renacimiento* marcó el comienzo de cambios significativos en la propiedad de la tierra y la urbanización. El comercio y el mercantilismo fomentaron el crecimiento de las ciudades y la disminución del poder feudal. La tierra comenzó a ser vista como un bien comercializable más que como una base de poder feudal. La *Revolución Industrial*, en los siglos XVIII y XIX, aceleró el proceso de urbanización: la migración masiva del campo a la ciudad para trabajar en las fábricas llevó a una demanda creciente de vivienda y desarrollo urbano. Surgieron nuevos tipos de propiedades, como viviendas multifamiliares y edificios comerciales.

En el *Siglo XX*, la propiedad privada se convirtió en un objetivo importante para muchas familias y surgieron complejos sistemas de financiación para facilitar la adquisición de bienes inmuebles. El desarrollo inmobiliario se profesionalizó con la aparición de grandes empresas constructoras y desarrolladoras. A medida que la economía evolucionaba, aparecieron también las grandes crisis inmobiliarias, como la Gran Depresión de 1929 o, la más actual, la crisis de las hipotecas de 2008.

En la actualidad, el mercado inmobiliario está en un periodo de transformación significativa debido a cambios económicos, sociales y tecnológicos. Las altas tasas de interés (encarecen la financiación de las hipotecas) y la inflación (costos de construcción y, por lo tanto, de compra, más altos) provocadas por la crisis de la pandemia de *COVID-19* son factores clave que afectan a la demanda y a los precios de los inmuebles, mientras que la tecnología continúa revolucionando la forma en que se realizan las transacciones inmobiliarias y se gestionan las propiedades. En España, se suma a esto una crisis silenciosa de los alquileres (los alquileres en las principales ciudades están más altos que nunca a causa de la falta de vivienda) que hace que sea necesario una revisión del actual parque inmobiliario por parte de las autoridades.

Las plataformas online, la *Realidad Virtual (VR)*, el *Big Data*, el *Blockchain*, la *Inteligencia Artificial (IA)*, el *Internet de las Cosas (IoT)* y el *Building Information Modeling (BIM)* son cada vez más conocidos dentro del sector y parece que el uso de tecnologías como estas solo va a ir aumentando con el tiempo. Este tipo de tecnologías se engloban dentro del mismo concepto, el *Proptech*: combinación de las palabras “*property*” (propiedad) y “*technology*” (tecnología) que se refiere al uso de la tecnología para innovar y mejorar los servicios dentro del sector inmobiliario. El *Proptech* abarca una amplia gama de aplicaciones y herramientas tecnológicas que tienen como objetivo optimizar la compra, venta, alquiler, gestión y administración de propiedades.

El sector inmobiliario enfrenta una serie de retos tanto en el presente como en el futuro. Estos desafíos abarcan una amplia variedad de aspectos económicos, sociales, tecnológicos y ambientales. Los precios de la vivienda no paran de aumentar debido a la escasez de viviendas, especialmente en áreas urbanas donde la demanda supera con creces la oferta. Esto dificulta el acceso a la vivienda, particularmente para los más jóvenes y para las familias con bajos ingresos. Situaciones como estas, muchas veces, provocan un aumento de regulaciones gubernamentales, como controles de alquileres o cambios en las normativas de zonificación, que pueden limitar la capacidad de desarrollo e inversión. En conclusión, los cambios demográficos, como el envejecimiento de la población y la propia migración, exigen al sector una adaptación para satisfacer las necesidades de una población tan diversa [1]. Desde hace algunos años, existe una creciente presión para que las construcciones sean más sostenibles y amigables con el medio ambiente, ya que los edificios representan aproximadamente el 40% del consumo de energía global y el 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero [2]. El cambio climático puede afectar a la valoración de propiedades y aumentar los costos de seguros. Los desarrolladores deben adaptarse a las nuevas normativas ecológicas, las cuales podrían implicar mayores costos de construcción y renovación, y a las demandas de consumidores conscientes de la importancia del medio que nos rodea [3]. El auge de nuevas tecnologías (blockchain, inteligencia artificial, etc.) provoca que las empresas deban adaptarse rápidamente si desean mantenerse competitivas dentro del sector. Estas tecnologías podrían mejorar la eficiencia, reducir costos y ayudar a personalizar la experiencia para cada cliente [4].

Enfrenta, también, retos relacionados con la transparencia (opacidad de información, fraude y corrupción, asimetría en la información, etc.), la seguridad (fraude en la propiedad mediante suplantación de identidad o falsificación de documentos, robos de datos personales, ciberataques, etc.) o la actualización de normativas (normativas y regulaciones desactualizadas que no reflejan los cambios tecnológicos y económicos).

Parte 1: BLOCKCHAIN

1. Blockchain. Concepto.

Blockchain o Cadena de Bloques es una tecnología de registro distribuido que permite la creación de una base de datos compartida y segura. Cada bloque en la cadena contiene un conjunto de transacciones verificadas por una gran cantidad de nodos (ordenadores) que se añaden de manera cronológica e inmutable (gracias a la conexión entre los nodos), garantizando la integridad y la transparencia de la información almacenada [5]. La estructura del Blockchain consiste en, básicamente, una cadena de bloques enlazados entre sí, donde cada bloque posee un hash criptográfico del bloque anterior, un sello temporal, y datos de las diferentes transacciones realizadas [6]. Una de las grandes ventajas que se suelen mencionar cuando se habla de esta tecnología es la descentralización, es decir, no dependería de una entidad central para su operación que pudiera influir en ella (posteriormente se explicará que sí podría haber una entidad central que lo regulara), y utiliza mecanismos de consensos como la *Proof of Work* (PoW o Prueba de Trabajo) o la *Proof of Stake* (PoS o Prueba de Participación) para validar y agregar nuevos bloques a la cadena [7]. En el apartado 3, se ofrece una explicación detallada de las diferentes partes que conforman la tecnología blockchain.

El Blockchain se popularizó inicialmente como la tecnología subyacente de Bitcoin, la primera criptomoneda (moneda virtual que utiliza criptografía para garantizar transacciones seguras) conocida por haber aumentado su valor exponencialmente durante los últimos años, pero su uso se ha expandido a diferentes campos a parte del monetario: cadena de suministro, finanzas, sector inmobiliario, etc. En conclusión, se ha ido expandiendo en campos donde las transacciones y registros tienen una importancia significativa. Además, el Blockchain permite implementar los llamados Smart Contracts o Contratos Inteligentes, que son programas autoejecutables con los términos del acuerdo directamente escritos en el código [8].

2. Origen y evolución del Blockchain

El concepto de Blockchain apareció en la década de los 90, cuando Stuart Haber y W. Scott presentaron un trabajo sobre una cadena de bloques criptográficamente segura que impedía la manipulación de los documentos con marcas de tiempo [9], por lo que, si se intentaba modificar algún documento registrado en esta cadena de bloques, esta alteración era detectada de inmediato. En el libro *The Business Blockchain: Promise, Practice, and the Application of the Next Internet Technology* de William Mougayar [10] se definen tres fases clave en la evolución del Blockchain a lo largo de este siglo.

1. *Primera Generación: Creación de Bitcoin (BTC) y otras criptomonedas (Periodo entre 2009 y 2014).* En el año 2009 se crea el primer bloque de Bitcoin, un sistema de dinero digital descentralizado [5]. Se dice que es la única criptomoneda verdaderamente descentralizada ya que no se sabe la identidad exacta de su creador. La información que hay hasta la fecha habla de que Bitcoin fue creado por una persona o un grupo de personas bajo el seudónimo de *Satoshi Nakamoto*. En los años posteriores se crean otras criptomonedas basadas en el código de Bitcoin.
2. *Segunda Generación: Creación de los Contratos Inteligentes con la plataforma de Ethereum (Periodo entre 2015 y 2018).* En el año 2015 se lanza Ethereum, una plataforma blockchain que permite la creación de contratos inteligentes (smart contracts) autoejecutables una vez cumplidas las condiciones del contrato [8]. Fue propuesta el año 2013 por *Vitalik Buterin* y lanzada, finalmente, en 2015. Su criptomoneda nativa es el Ether (ETH).
3. *Tercera Generación: Escalabilidad y Diversificación (Periodo de 2018 a la actualidad).* A partir de 2018, la tercera generación se centra en la escalabilidad y la eficiencia energética, con la aparición de proyectos como *EOS* y *Cardano*.

EOS es una red similar a la red de Ethereum, esta plataforma blockchain se diseñó para el desarrollo de aplicaciones descentralizadas (dApps) y contratos inteligentes, pero con un enfoque centrado en la escalabilidad, facilidad de uso, eficiencia y velocidad en las transacciones. Fue lanzada por la empresa *Block.one* en 2018 [11].

Cardano es una plataforma blockchain diseñada, también, para ejecutar dApps y contratos inteligentes. Desarrollada por la empresa *IOHK* y lanzada en 2017 bajo la dirección de *Charles Hoskinson* (cofundador de Ethereum), esta plataforma utiliza un protocolo de consenso (reglas y procedimientos para asegurar que las transacciones se verifiquen y registren de manera segura y confiable) de Prueba de Participación (PoS) llamado *Ouroboros*, el cual se enfoca en la seguridad, escalabilidad y sostenibilidad. La criptomoneda nativa de Cardano se llama ADA [12].

Desde finales del año 2020, la plataforma Ethereum está en proceso de actualización a Ethereum 2.0, en la cual se están implementando medidas que mejoran la eficiencia, escalabilidad y sostenibilidad de la red. En 2021, los *Tokens No Fungibles (NFT's)* ganaron popularidad utilizando el Blockchain para verificar la propiedad y autenticidad de los activos digitales únicos [13].

3. Arquitectura del blockchain

El blockchain es una tecnología innovadora y versátil que puede clasificarse en tres categorías principales basadas en el nivel de centralización y control que posean [14]: blockchain pública, blockchain privada y blockchain híbrida o de consorcio. Cada una de estas categorías tiene características distintivas que determinan su aplicabilidad y ventajas en diferentes contextos.

BLOCKCHAIN PÚBLICA

Es una red abierta en la que no hay una entidad central que conforme la red. Es accesible para cualquier persona que desee unirse y participar. Por ejemplo, supongamos que el NODO X crea el primer bloque (Bloque nº1). A este bloque se le asigna un código alfanumérico (Hash) y es validado por los demás nodos para registrarlo en la blockchain. Una vez registrado, el segundo bloque es creado y pasa por los mismos procesos que el primero (se crea un hash y se valida por los demás nodos) exceptuando que este bloque se enlaza con el hash del anterior, y así, sucesivamente, se van añadiendo bloques relacionados unos con otros a la cadena. En la siguiente figura se puede observar, simplificada, estos procesos.

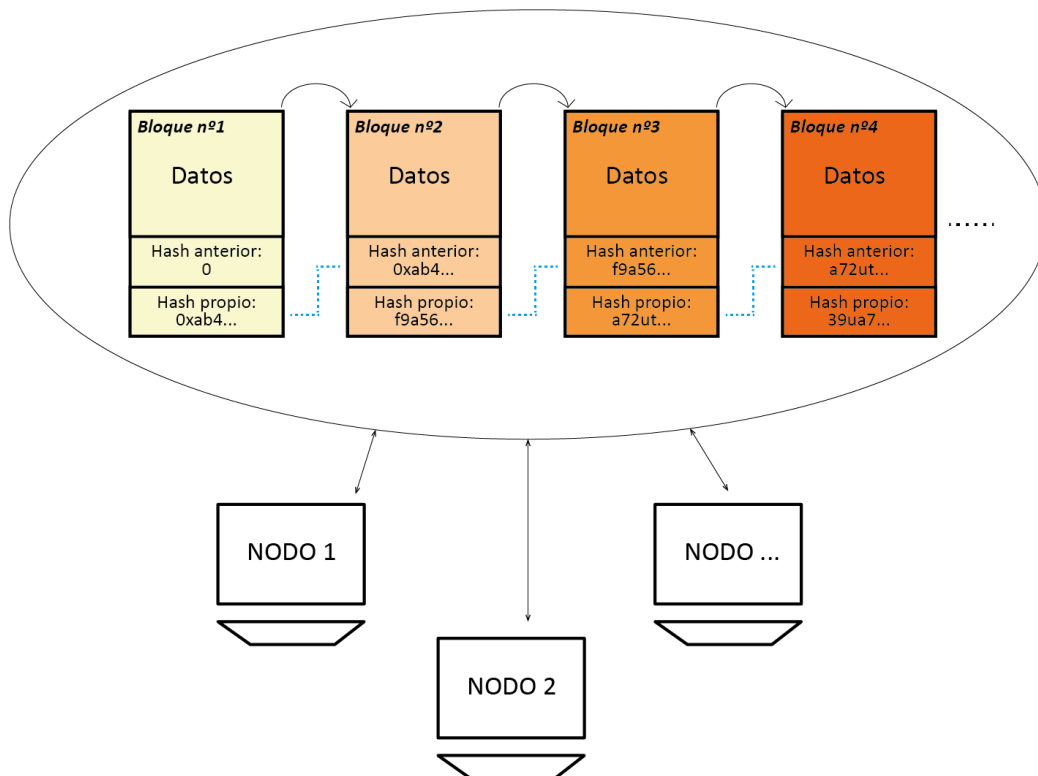


Figura 1. Esquema simplificado del funcionamiento de una blockchain pública. Fuente de elaboración propia.

Las ventajas que posee este tipo de blockchain son la alta seguridad debido a la descentralización y resistencia a cualquier tipo de censura. Las desventajas serían la menor eficiencia en términos de energía y escalabilidad y una mayor lentitud que las otras redes. En las líneas posteriores se explicarán más detalladamente las ventajas y desventajas de la tecnología blockchain.

BLOCKCHAIN PRIVADA

Como puede observarse en la figura 2, los procesos para registrar los bloques son los mismos que en las blockchain públicas, excepto que estas están controladas por una organización o entidad específica. En ella, solo los participantes seleccionados tienen permiso para unirse y realizar transacciones.

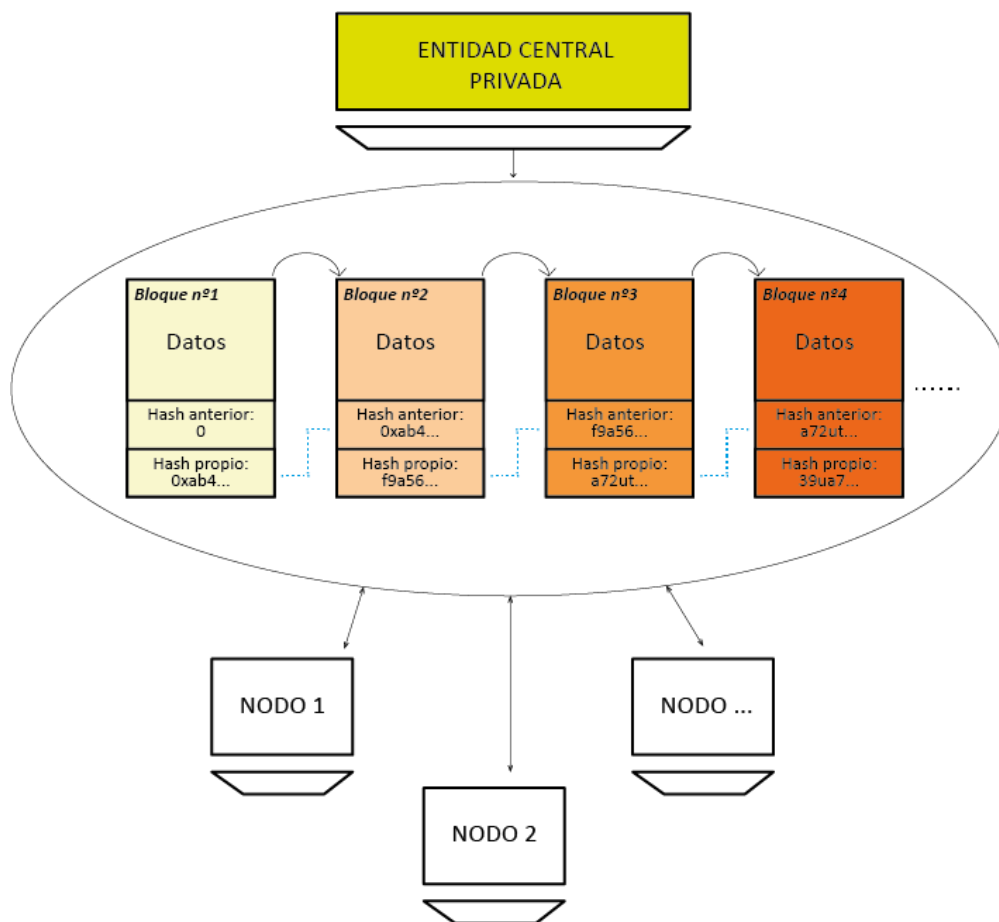


Figura 2. Esquema simplificado del funcionamiento de una blockchain privada. Fuente de elaboración propia.

Las ventajas de este tipo de red respecto a la blockchain pública son una mayor privacidad, ya que se tiene un control específico sobre quién participa en ella, y mejor rendimiento, ya que hay menos posibilidades de que se sature la red al haber un menor número de participantes. La desventaja más evidente sería la menor transparencia y una posible vulnerabilidad a la manipulación por parte de la entidad central.

BLOCKCHAIN DE CONSORCIO O HÍBRIDA

En este tipo de blockchain participan varias organizaciones que cooperan para gestionar la red. Se combinan, por lo tanto, elementos de las blockchains públicas y privadas. Esto se puede observar en la figura 3.

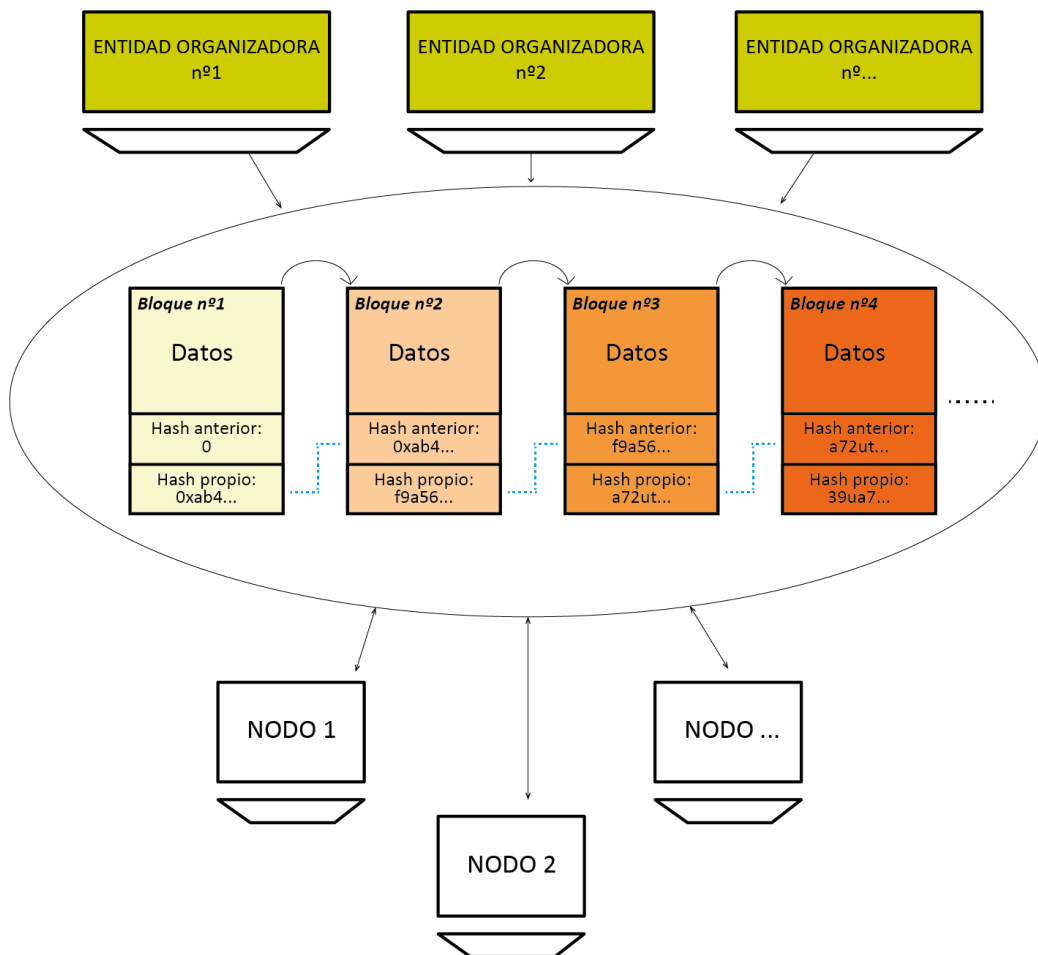


Figura 3. Esquema simplificado del funcionamiento de una blockchain híbrida o de consorcio. Fuente de elaboración propia.

Las blockchains híbridas combinan los beneficios de las blockchain públicas, al tener una mayor seguridad y transparencia, y privadas, al poseer un mayor control y eficiencia. Por otro lado, al tener diferentes entidades que comparten el control sobre la red, se podrían crear una serie de conflictos entre ellas, ya que deben ponerse de acuerdo sobre cómo gestionar la propia red.

A continuación, se detallarán los conceptos principales que conforman la tecnología blockchain.

3.1. Bloques

Los bloques son un aspecto fundamental del blockchain e incorporan una estructura de datos que agrupa un conjunto de transacciones verificadas y otras informaciones relevantes. Aunque la estructura puede variar ligeramente entre diferentes blockchains, seguidamente se detallarán los componentes típicos de un bloque en una blockchain [14].

ENCABEZADO DEL BLOQUE (BLOCK HEADER)

El encabezado del bloque en una blockchain es un componente esencial que contiene información crítica para la integridad, seguridad y eficiencia de la red. Los elementos que lo componen trabajan juntos para asegurar que los bloques sean verificables, inmutables y cronológicamente ordenados, manteniendo la confiabilidad del sistema. A continuación, se explicarán estos elementos.

- *Versión del Bloque.* Indica la versión del protocolo (mecanismo de consenso que se explicará posteriormente) del blockchain, qué reglas de consenso seguir para validar el bloque y ayuda a la actualización de la red.
- *Hash del Bloque Anterior.* Identificador alfanumérico único (hash) del bloque anterior en la cadena, garantizando el orden cronológico de los bloques. En el apartado 3.2, se explicará detalladamente el proceso de Hashing y todos los elementos relacionados, como el concepto siguiente, la raíz de Merkle.
- *Merkle Root (Raíz de Merkle).* Es un hash que representa todas las transacciones incluidas en el bloque (contiene todos los hashes creados hasta la fecha).
- *Marca de Tiempo (Timestamp).* Es el registro de la fecha y hora en que se creó el bloque.
- *Dificultad del Bloque.* Representa la dificultad del problema de minería que se debe resolver para agregar el bloque a la cadena. La dificultad se ajusta, por ejemplo, dependiendo de la cantidad de transacciones que haya en un mismo momento, para mejorar la eficiencia de la red, o en función del tiempo que haya pasado desde que se generó el último bloque (para evitar bloqueos prolongados).
- *Nonce.* Es un número que los mineros (participantes que validan y aseguran las transacciones dentro de una red) varían para encontrar un hash que cumpla con el requisito de dificultad establecido y, así, poder validar la transacción. Este concepto solo aparece en el mecanismo de consenso *Proof of Work* o *Prueba de Trabajo* que se explicará, posteriormente, en el apartado 3.3.

CUERPO DEL BLOQUE (BLOCK BODY)

El cuerpo del bloque se compone, principalmente, de todas las transacciones que se han incluido en ese bloque. Generalmente, este contiene el número de transacciones que se van a agrupar en ese bloque y la lista de las propias transacciones.

- *Número de Transacciones.* Indica cuántas transacciones están contenidas dentro del bloque.
- *Transacciones.* Lista de las transacciones que se hayan registrado. Cada transacción incluye el ID de la transacción (identificador único), entradas o inputs y salidas u outputs (aquí se incluyen los datos o activos digitales que se intercambien en la transacción). En el apartado 3.7, se explicarán los Smart contracts o Contratos inteligentes, transacciones que se autoejecutan cuando se cumplen unas condiciones preestablecidas en el código de la transacción.

3.2. Hashing y Árboles de Merkle

El Hashing es un proceso criptográfico que transforma cualquier conjunto de datos de entrada en una cadena fija de caracteres (números y letras) a través de un algoritmo. Este conjunto de caracteres se llama *Hash* y es fundamental para la seguridad e integridad de la blockchain, ya que la misma entrada de datos siempre producirá el mismo hash (proceso crucial para verificar la integridad de los datos) [15]. Cualquier mínimo cambio en los datos resultaría en un hash completamente diferente. Esto hace que se pueda verificar la autenticidad de un activo comparando los hashes que producen los datos actuales con los que producía originalmente. Los algoritmos de hashing que más se utilizan actualmente producen hashes de más de 200 bits y algunos llegan hasta los 500, por lo que es altamente improbable que dos entradas diferentes produzcan el mismo hash.

Algunos ejemplos de algoritmos de hashing serían: *Secure Hash Algorithm* o *SHA* (el SHA-256 es de los más conocidos por ser el algoritmo que se aplica en Bitcoin), *Message Digest* o *MD* (se considera menos seguro por producir hashes con un menor número de bits), *RACE Integrity Primitives Evaluation Message Digest* o *RIPEMD* (una alternativa un poco más segura que MD), *Blake2* (ofrece una alta velocidad y seguridad), *Whirlpool* (se utiliza en aplicaciones criptográficas y produce un hash de 512 bits), *XXHash* o *XXH* (algoritmo extremadamente rápido, diseñado para hashing no criptográfico), etc.

Como se puede observar en la figura 4, los hashes se organizan en una estructura de árbol, llamado *Árbol de Merkle*. Las “hojas” del Árbol de Merkle contienen los hashes de los datos originales. Estos hashes se combinan y se aplica de nuevo una función hash en los nodos intermedios. En el nodo superior del árbol se combinan los hashes de los nodos intermedios formando otro hash llamado *Raíz de Merkle* o *Merkle Root*. Esta relación entre los hashes y el árbol de Merkle permite una verificación y validación eficiente de gran cantidad de datos, lo que es crucial en aplicaciones blockchain.

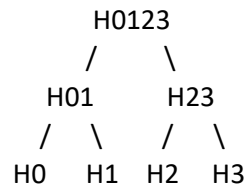


Figura 4. Esquema simplificado de un Árbol de Merkle.
Fuente de elaboración propia con el uso de ChatGPT.

3.3. Mecanismos de Consenso

Los mecanismos de consenso son protocolos que permiten a los participantes de una misma red blockchain llegar a un acuerdo sobre el estado del libro mayor (registro digital de las transacciones) compartido entre los nodos y, así, registrar todas las transacciones. Aunque los más conocidos son la *Proof of Work* (PoW) y *Proof of Stake* (PoS) [16], seguidamente se explicarán otros mecanismos de consenso bastante usuales como la *Delegated Proof of Stake* (DPoS) [14], *Proof of Authority* (PoA), *Proof of Burn* (PoB), *Practical Byzantine Fault Tolerance* (PBFT), *Proof of Space* (PoSpace) y *Proof of Space-Time* (PoST) y *Proof of Elapsed Time* (PoET).

PROOF OF WORK (PoW)

El Proof of Work o Prueba de Trabajo es el mecanismo más conocido. Popularizado por su uso en Bitcoin, este es un sistema en el cual los mineros compiten entre sí para resolver un problema matemático complejo, conocido como *problema criptográfico*. Este problema implica encontrar un número (Nonce) que, cuando se combina con los datos del bloque y se pasa por una función hash, produce un hash que cumple con ciertos criterios de dificultad [14]. Esta dificultad se ajusta periódicamente para que el tiempo promedio de minado de bloque se mantenga constante. Una vez se encuentra la solución, el bloque se transmite a la red por el minero y es validado por el resto de nodos para, posteriormente, añadirse a la cadena de bloques. Los mineros validan estas transacciones a cambio de criptomonedas, comisiones por transacción, tokens, beneficios de gobernanza, acceso preferencial a nuevas características o proyectos en la red, etc. Las ventajas principales que posee son la descentralización y la seguridad debido a la cantidad de poder computacional necesario para atacar la red. Por otra parte, las desventajas son el alto consumo de energía eléctrica y la posible centralización de la minería (más recursos para minar implica más posibilidades de resolución del problema).

PROOF OF STAKE (PoS)

EL Proof of Stake o Prueba de Participación es un mecanismo de consenso que, a diferencia del PoW que depende de la capacidad de cómputo para resolver problemas matemáticos, selecciona validadores (nodos) basándose en la cantidad de criptomonedas o tokens nativos de la plataforma, que puedan representar una gran variedad de recursos o derechos dentro de ese ecosistema blockchain, estén dispuestos a “apostar” como garantía. Se bloquean los tokens mientras ocurre todo el proceso. Cuanto mayor sea la cantidad apostada, mayores son las posibilidades de ser seleccionado para validar el bloque. El validador seleccionado es el responsable de verificar todas las transacciones del bloque. Este mecanismo es descentralizado y, al no realizarse cálculos complejos, se consume poca energía y, por lo tanto, permite una mayor escalabilidad. Por otro lado, podría tener riesgo de centralización, ya que aquellos participantes que poseyeran una gran cantidad de tokens tendrían más posibilidades de ser seleccionados. A su vez, tiene demasiada dependencia de la disponibilidad de los validadores (estos podrían desconectarse o no participar activamente en la red).

DELEGATED PROOF OF STAKE (DPoS)

En este mecanismo de consenso los poseedores de tokens votan para elegir a los *delegados* o *testigos* (*witnesses*) que se encargarán de validar transacciones y producir nuevos bloques [11]. El peso de cada voto está determinado por la cantidad de tokens que posee cada votante. Estos delegados recibirán recompensas (tokens, peso dentro de las votaciones, etc.) por su trabajo de validación. La eficiencia y escalabilidad, al tener un número reducido de validadores, son las principales ventajas que tiene este mecanismo. Al igual que en el mecanismo anterior, los poseedores de grandes cantidades de tokens tienen más influencia en la elección de delegados, por lo cual, podría producirse una centralización del poder en la red.

PROOF OF AUTHORITY (PoA)

En el Proof of Authority se designan *validadores* a entidades conocidas y de confianza dentro de la red. Estas se encargarán validar y verificar las transacciones. Es ideal para entornos donde la confianza mutua y la transparencia son fundamentales, aportando una alta eficiencia, rendimiento y seguridad basada en la reputación de los validadores. Esta característica provoca que tenga una menor descentralización y mayor dependencia de las entidades verificadas. En grandes redes puede ser difícil encontrar un número adecuado de validadores confiables. Es menos adecuada para aplicaciones que requieran un alto nivel de resistencia a la censura y manipulación.

PROOF OF BURN (PoB)

Como indica su nombre, este es un protocolo de consenso en el cual los participantes “queman” sus activos o tokens (se envían a una dirección irrecuperable) para ser elegidos y tener el derecho de minar nuevos bloques [17]. El que más activos queme, más posibilidades tiene para ser elegido. Los mineros esperan obtener recompensas a largo plazo con un valor mayor del valor que tienen los tokens que han quemado. Este tiene un menor consumo energético, por lo que se necesita una menor inversión en equipos de computación, y, al no querer perder sus inversiones, se asegura el comportamiento honesto de los mineros en la red [17]. Al producirse una destrucción de recursos financieros puede ser menos atractivo para los participantes.

PRACTICAL BYZANTINE FAULT TOLERANCE (PBFT)

Algoritmo de consenso diseñado para que la red pueda tolerar *fallas bizantinas* (situaciones en las que los nodos de la red fallan o actúan de manera maliciosa enviando mensajes incorrectos a otros nodos). El nodo primario propone un valor de consenso que, posteriormente, los demás nodos validan. Estos nodos transmiten sus votos a los otros nodos y, si se reciben suficientes votos, se añade este valor a la cadena de bloques. En el caso de que ocurra alguna falla bizantina (hasta 1/3 de los nodos), el sistema es capaz de tolerarlas. A su vez, tiene un bajo consumo energético y una alta rapidez en la finalización del consenso. Al requerir una mayor comunicación entre nodos, lo hace menos escalable y más complejo.

PROOF OF SPACE (PoSpace) y PROOF OF SPACE-TIME (PoST)

El Proof of Space es un mecanismo en el cual los participantes asignan una cantidad significativa de espacio en su disco (almacenamiento en el ordenador) para almacenar datos específicos (*Plotting*). Para validar una transacción, se debe demostrar que haya disponible una cierta cantidad de espacio en el disco. En el Proof of Space-Time, además, también se debe demostrar que ese espacio ha estado reservado durante un cierto periodo de tiempo. La ventaja principal es que permite a más personas participar utilizando software estándar y consume poca energía, pero requiere grandes cantidades de almacenamiento.

PROOF OF ELAPSED TIME (PoET)

En el PoET los nodos participantes (después de registrarse y ser autorizados) generan un periodo de espera mediante un *Entorno de Ejecución Confiable* o *Trusted Execution Environment TEE* (se generan tiempos de espera aleatorios). El nodo que tiene el menor tiempo de espera será el que propondrá el nuevo bloque, el cual deberá ser validado por el resto de nodos para añadirse a la cadena. Todos los nodos tienen las mismas oportunidades de ser seleccionados y, al utilizar el TEE, se asegura que los tiempos de espera no puedan ser manipulados. Por otro lado, se produce una dependencia del hardware a causa del TEE (los dispositivos deben soportar esta tecnología) y, al ser privada, se debe confiar en la empresa fabricante del hardware y en la empresa que implemente el TEE.

3.4. Red P2P (Peer-to-Peer)

El peer-to-peer se refiere a una red distribuida en la que cada participante, o “par” (peer), actúa tanto como cliente como servidor, compartiendo y consumiendo recursos directamente con otros pares, sin necesidad de un servidor centralizado.

Aplicado a la tecnología blockchain, una *red P2P* es la estructura de la propia blockchain donde los nodos se comunican directamente entre sí, sin la necesidad de un intermediario. Gracias a esta comunicación directa entre nodos se consigue una red confiable, descentralizada, transparente y segura.

3.5. Transacciones

Las transacciones son la columna vertebral de cualquier sistema blockchain. Estas implican registros de datos que, mediante los procesos distribuidos, seguros y transparentes, se añaden a la cadena de bloques de manera inmutable. El proceso de registro de una transacción es el siguiente.

- 1. Creación de la transacción.** Se introducen los datos que vayan a incorporarse a la transacción y se firma (firma digital con la clave privada). Posteriormente, se explicará en qué consisten las claves.
- 2. Transmisión a la red.** La transacción firmada se difunde a la red para que los nodos la reciban.
- 3. Verificación y validación.** Los nodos de la red la validan utilizando la clave pública del remitente.
- 4. Adición al bloque.** Una vez validada, la transacción se incluye en un bloque, creado por un minero (en PoW) o por un validador (PoS, etc.).
- 5. Confirmación.** Al añadirse el bloque a la blockchain, la transacción se considera confirmada. Sin embargo, se suelen esperar varias confirmaciones adicionales (bloques añadidos después del bloque que contiene la transacción) para garantizar la seguridad.
- 6. Registro permanente.** La transacción queda registrada en la blockchain de manera inmutable.

3.6. Criptografía de claves

Las claves son herramientas criptográficas esenciales que permiten la seguridad, autenticidad y privacidad de las transacciones y datos. En blockchain existen dos tipos de claves: claves privadas y claves públicas. A continuación, se desarrollará en qué consiste cada una de ellas.

La clave privada es un número secreto generado aleatoriamente, el cual permite a su poseedor crear firmas digitales que autentican su identidad y autorizan transacciones [18]. Este número debe mantenerse en secreto, ya que si alguien obtiene esa clave, puede controlar todos los activos digitales asociados a ella.

Por otro lado, la clave pública es un número derivado criptográficamente de la clave privada, que se utiliza para verificar las firmas digitales creadas con la propia clave privada. Aunque la clave pública deriva de la privada, no es posible calcular la clave privada a través de la pública, por lo que puede compartirse abiertamente.

Cuando un usuario quiere realizar una transacción en una blockchain, se crea un hash de los datos de esa transacción. Ese hash se firma digitalmente con la clave privada, creando una firma digital única. Si, posteriormente, otros usuarios de la red quieren verificar esa firma digital, pueden utilizar la clave pública del firmante (se recalcula el hash de los datos y se compara la firma digital proporcionada con la firma generada a partir del hash y la clave pública). Si la verificación es correcta, se confirma que la transacción fue realizada por el propietario de la clave privada y que los datos no han sido alterados.

3.7. Smart Contracts o Contratos Inteligentes

Los *contratos inteligentes* son programas informáticos ejecutados en una blockchain que se utilizan para automatizar, verificar y hacer cumplir acuerdos sin la necesidad de intermediarios. Estos contratos son autónomos y autoejecutables: las condiciones y términos del contrato se codifican en el software y se ejecutan automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones predefinidas [19]. Al igual que el resto de transacciones en la blockchain, los contratos inteligentes poseen seguridad, transparencia e inmutabilidad. A continuación, se mostrará el funcionamiento de los smart contracts.

- 1. Codificación del contrato.** Se codifica el contrato en términos y condiciones en un lenguaje de programación específico para la blockchain (por ejemplo, Solidity, que es compatible con Ethereum).
- 2. Despliegue en la blockchain.** El contrato se almacena en la blockchain y se replica en todos los nodos de la red (previa firma digital con la clave privada del propietario del contrato).
- 3. Interacción y Ejecución.** Cada contrato tiene una dirección única mediante la cual se puede interactuar con él enviando transacciones. Cuando un usuario desea interactuar con un contrato inteligente, firma la transacción con su clave privada, por lo que es importante que esta no se vea comprometida en ningún momento (un atacante podría firmar transacciones y se podrían producir pérdidas). Una vez cumplidas las condiciones predefinidas, se ejecutan automáticamente sin intermediarios.

Las ventajas que puede tener la implementación de este tipo de contratos son la eficiencia (eliminación de intermediarios, reducción de costes y reducción de tiempos de transacción), descentralización y una alta confiabilidad (la ejecución automática elimina errores humanos o manipulaciones). Aunque el proceso de creación de contratos inteligentes sea seguro, se debe tener cuidado a la hora de escribir y ejecutar el código, ya que hay que asegurarse que esté libre de errores y vulnerabilidades. A parte, todavía existen ciertas incertidumbres sobre cómo se podrían regular estos contratos en diferentes jurisdicciones.

Actualmente, se están desarrollando ideas que implicarían un modelo de *Contrato Inteligente Colaborativo* o *Collaborative Smart Contract (CoSC)*. El CoSC es una estructura de contrato inteligente que permite la participación de múltiples partes en la ejecución de un contrato, promoviendo un sistema más colaborativo, eficiente y transparente. Este modelo se adapta muy bien a las transacciones complejas y multiparte, como por ejemplo, las que ocurren en la compraventa de bienes raíces [19]. Los CoSC están diseñados como contratos inteligentes modulares, donde cada módulo interactúa con otros contratos inteligentes desplegados en la blockchain [19]. Esto permite que diferentes partes del contrato manejen aspectos específicos de la transacción, como la verificación de pagos, validación de documentos, etc. El modelo CoSC utiliza la estructura de *interfaz* o *interface* de Solidity para acceder a esas funciones y variables de los demás contratos. Cada contrato en la red blockchain posee una dirección única mediante la cual el CoSC interactúa de manera eficiente [19].

En el artículo *Collaborative Smart Contracts (CoSC): example of real estate purchase and sale of Tunahan Timuçin y Serdar Biroğul* se explica el proceso de ejecución del CoSC en una transacción inmobiliaria [19].

- 1. Inicio de la transacción.** Se crea un contrato principal coordinador de todos los contratos inteligentes colaborativos necesarios para la transacción.
- 2. Actuación de las partes.** Las partes involucradas (comprador, vendedor, bancos, autoridades fiscales, etc.) interactúan con el contrato principal. Cada parte tiene un conjunto de funciones y responsabilidades definidas en sus respectivos contratos inteligentes.
- 3. Verificación y Validación.** Los pagos se verifican a través de contratos inteligentes conectados a las cuentas bancarias y los documentos necesarios (títulos de propiedad y permisos) se validan automáticamente mediante contratos inteligentes conectados a bases de datos públicas.
- 4. Ejecución colaborativa.** Los contratos interactúan entre sí y van actualizando el estado de la transacción.
- 5. Finalización de la transacción.** Una vez que todas las condiciones han sido verificadas y validadas, el contrato principal finaliza la transacción. Esto puede incluir la transferencia de fondos, la actualización de registros de propiedad y la notificación a todas las partes involucradas.

Un aspecto que se debe considerar, no reflejado en los anteriores puntos, y que constituye una de las principales ventajas de esta tecnología, es su seguridad. En la siguiente figura se muestra la seguridad de la tecnología blockchain. Se puede observar cómo, si un nodo malicioso cambia los datos de un bloque, cambia el hash creado, por lo que es rápidamente detectado por los demás nodos y no es aceptado como válido.

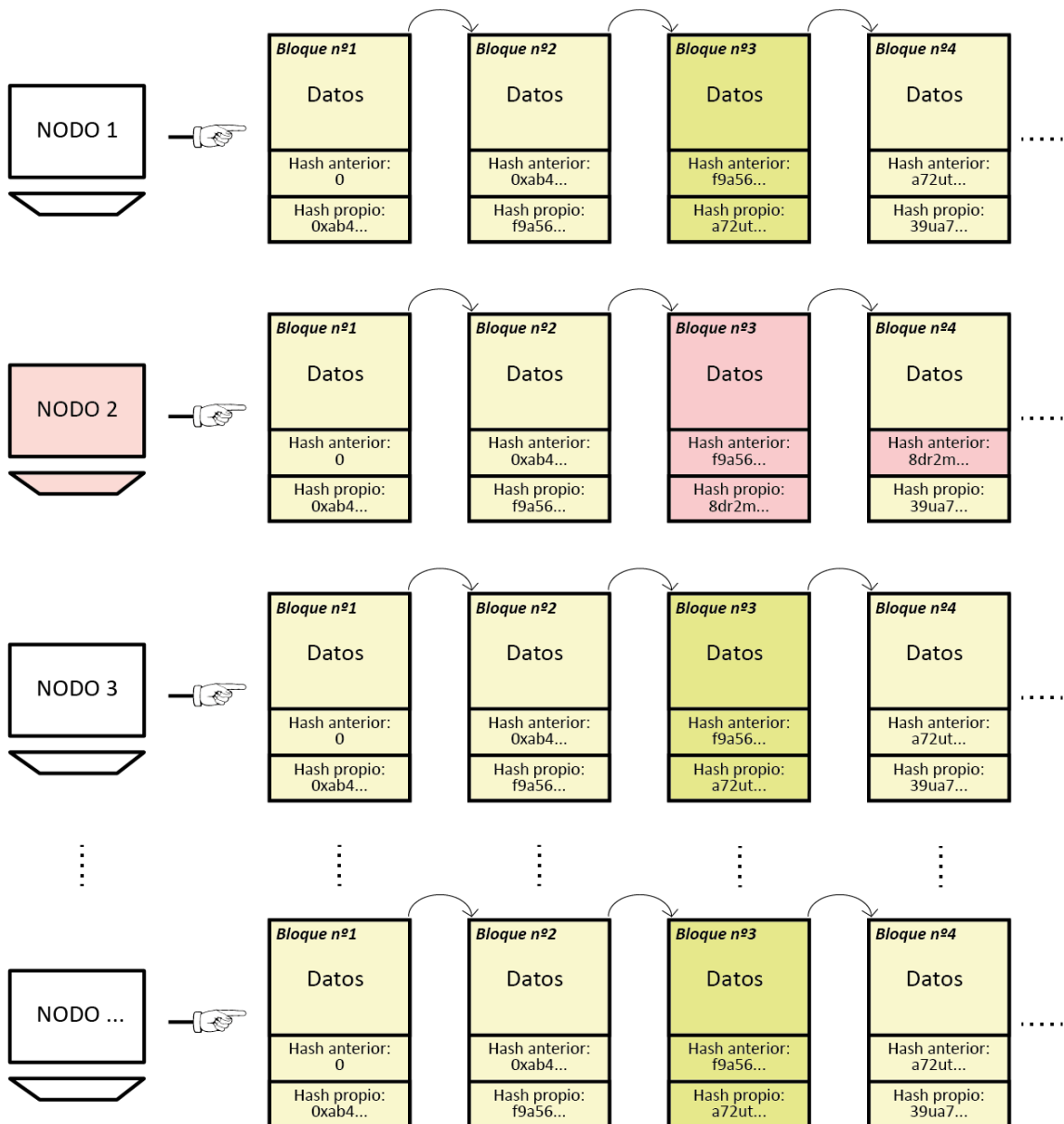


Figura 5. Representación de la detección de los datos alterados por parte de un nodo malicioso. Fuente de elaboración propia.

4. Aplicaciones del blockchain

El Blockchain tiene el potencial de transformar diversos sectores económicos mediante la mejora de la transparencia, seguridad y eficiencia. Su capacidad de crear sistemas descentralizados y automatizados puede impulsar innovaciones significativas y resolver problemas complejos en las diferentes industrias, por lo que, cada vez más, las empresas están implementando (o, por lo menos, planteándolo) este tipo de tecnología. A continuación, se revisarán las principales aplicaciones del sector.

SECTOR FINANCIERO Y BANCARIO

Es bien sabido que el intercambio de documentación y la confiabilidad son los pilares fundamentales de este sector, por lo que el uso del blockchain tiene la capacidad de transformarlo de una manera que nunca se podría haber imaginado con su funcionamiento tradicional. La implementación del blockchain implicaría la reducción de costos, tiempo (transferencias de dinero más rápidas), banca descentralizada (*DeFi*), transparencia, seguridad (registro de transacciones inmutable), mejora en la financiación y préstamos, reducción de errores en la contabilidad, diversificación en activos como criptomonedas o tokens, etc. [20]

Actualmente, empresas como *Ripple* y *Stellar* ya están utilizando blockchain para facilitar transferencias internacionales. Gracias a Ethereum se han creado aplicaciones descentralizadas (*dApps*) que utilizan contratos inteligentes para automatizar procesos financieros y el uso de criptomonedas como Bitcoin está cada vez más extendido.

SECTOR SANITARIO

Otro de los sectores que gozan de una gran importancia para la propia sociedad es el sanitario. En él, blockchain garantizaría que los registros médicos estuvieran seguros y que solo fueran accesibles para un cierto número de personas autorizadas, y se podría compartir información entre los distintos servicios de salud manteniendo la integridad de los datos. Dentro de este campo, también es importante la parte de ensayos clínicos y farmacología. Esta tecnología podría almacenar los datos que se obtuvieran en las diferentes fases de los ensayos sin poder ser manipulados y, a su vez, proteger la propiedad intelectual de los investigadores para asegurarse que los descubrimientos se pudieran atribuir correctamente. También, se podría llevar un registro del origen y recorrido de los medicamentos hasta llegar al establecimiento final [21].

Proyectos como *Medicalchain* y *MedRec* están utilizando blockchain para gestionar historiales médicos de manera segura y accesible e *IBM* y la *FDA* han explorado su uso para rastrear medicamentos y reducir la falsificación.

SECTOR ENERGÉTICO

Las posibles aplicaciones que puede tener el blockchain en el sector energético son las transacciones P2P entre productores y consumidores sin necesidad de intermediarios, utilización de contratos inteligentes y ayuda en la gestión de activos mejorando la trazabilidad, financiación de productos energéticos a través de crowdfunding y tokens, y ciberseguridad y resiliencia en la red [22].

Energy Web Foundation está desarrollando soluciones basadas en blockchain para la certificación y comercio de energía renovable y *Brooklyn Microgrid* (proyecto en Nueva York) permite a los residentes comprar y vender energía solar entre ellos.

ARTE Y ENTRETENIMIENTO

El arte y el entretenimiento constituyen otro campo fundamental dentro del ciclo de vida humano. Con el blockchain se puede, por ejemplo, certificar la autenticidad de una obra de arte (asegurando, así, a los compradores que la pieza no es una falsificación), tokenizar las obras digitales (se pueden crear *NFT's* o *Tokens No Fungibles*), proporcionando una manera de comerciar con arte digital de forma segura, gestionar los derechos más fácilmente y crear regalías automatizadas en las que se programen pagos automáticos cada vez que la obra se revenda, etc. Por otra parte, en el campo de los videojuegos se puede comerciar con activos dentro de los propios juegos mediante *NFT's*. Por último, en las redes sociales, los artistas podrían interactuar directamente con sus seguidores recompensándolos con tokens por su participación y apoyo, y estos, a su vez, podrían venderlos e intercambiarlos entre sí, creando una economía en torno al artista [23].

Plataformas como *OpenSea* y *Rarible* permiten la compra y la venta de arte digital y coleccionables y proyectos como *Audius* y *Ujo Music* están utilizando la blockchain para gestionar derechos de autor y compensaciones en la industria musical.

EDUCACIÓN

Con el uso de la tecnología blockchain se podrían hacer registros académicos sin posibilidad de alteración o emitir diplomas y certificados educativos de manera digital y segura. Estos certificados y los diferentes logros obtenidos podrían servir para facilitar la movilidad estudiantil mediante la transferencia de créditos entre instituciones educativas. A su vez, también podría ayudar en la gestión de cursos en línea creando plataformas educativas descentralizadas [24].

La *Universidad de Nicosia* y el *MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts)* ya han implementado sistemas para emitir certificados académicos utilizando la tecnología blockchain y proyectos como *Blockcerts* permiten la verificación de registros académicos de manera segura.

LOGÍSTICA Y TRANSPORTE

La automatización y eliminación de intermediarios reduciría los costos operativos y administrativos. Se podría rastrear todo el proceso por el que pasarían los productos hasta llegar al establecimiento final, por lo que habría transparencia en todo momento. Se podrían implementar los contratos inteligentes para automatizar y hacer cumplir las condiciones de los acuerdos entre las partes involucradas. También, se facilitaría la gestión de flotas, al proporcionar datos precisos y en tiempo real sobre el estado de los vehículos, y la gestión de los propios inventarios, evitando excesos o faltas de productos mejorando la eficiencia de almacenamiento y distribución [25].

Actualmente, las empresas *Maersk* e *IBM* han desarrollado *TradeLens*, una plataforma que mejora la transparencia y eficiencia en la cadena de suministro marítima, y en el *Puerto de Rotterdam* se ha explorado el uso de blockchain para la gestión de documentación y contratos.

ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

La implementación de la tecnología blockchain en la administración pública podría transformar la manera en que los gobiernos interactúan con los ciudadanos, ofreciendo servicios más transparentes, seguros y eficientes (aunque debería tenerse mucho cuidado con las personas a quienes se les autorice acceder a toda esta información). A la hora de gestionar las identidades, se podría proporcionar una identidad digital verificable mediante la cual se pudiera acceder a diferentes servicios públicos, hacer votaciones electrónicas limitando la posibilidad de fraude, etc. Los contratos públicos podrían ser inteligentes, lo cual podría garantizar que los procesos de licitación fueran más transparentes y seguros, y se reducirían los tiempos de adjudicación mediante la automatización de procesos [26]. Además, se podrían crear registros públicos de la propiedad que fueran inmutables, lo que facilitaría el proceso de transferencia de propiedades reduciendo la burocracia.

En *Georgia* se ha implementado el uso de blockchain para el registro de propiedades. En *Suecia*, el registro de la propiedad ha aprobado su uso. En *Estonia*, se utiliza para la gestión de la identidad digital, votación electrónica, etc.

En las siguientes líneas, se revisarán las aplicaciones de la tecnología blockchain en el sector inmobiliario, objeto principal de este artículo de investigación.

Parte 2: APLICACIONES DEL BLOCKCHAIN AL SECTOR INMOBILIARIO

La integración de la tecnología blockchain dentro del sector inmobiliario tiene el potencial de transformar numerosos aspectos del mercado, aumentando la transparencia, seguridad y accesibilidad, automatizando procesos, fraccionando las inversiones, etc.

Para hacer un estudio lo más detallado posible sobre las aplicaciones, se ha decidido dividir el Sector Inmobiliario en dos partes, diferenciando entre la Construcción y las transacciones que se hagan con ese bien inmueble, el Sector inmobiliario propiamente dicho.

5. Blockchain en la Construcción

Durante el proceso de construcción de un inmueble intervienen diversas actividades, las cuales se coordinan para ofrecer el mejor servicio posible, teniendo en cuenta las limitaciones tecnológicas actuales. Seguidamente, se mostrarán las diferentes actividades donde se podría implementar la tecnología blockchain.

5.1. Procesos proyectuales

El desarrollo de un proyecto arquitectónico implica una serie de procesos proyectuales, los cuales conllevan muchos intercambios y análisis de documentación. Para asegurarse de que la información es la correcta y se cumplen los plazos establecidos, se requiere una combinación de planificación meticulosa, gestión efectiva y alta capacidad de adaptación.

Blockchain ofrecería una serie de ventajas significativas en el diseño y gestión de proyectos arquitectónicos. Permitiría que los planos y diseños arquitectónicos se registraran de manera inmutable, protegiendo la propiedad intelectual y ayudando a prevenir plagios; se podrían implementar contratos inteligentes que ayudaran a reducir tiempos y costos en el proceso de diseño; facilitaría la colaboración entre múltiples partes (delineadores, estructuristas, etc.), asegurando que todos los participantes tuvieran acceso a la información más actualizada y correcta del estado actual del proyecto y de las próximas etapas, consiguiéndose, así, una planificación más eficiente; y, por último, podría integrarse dentro de las aplicaciones BIM (*Building Information Modeling*), potenciando las capacidades de gestión y transparencia de proyectos arquitectónicos complejos dentro de una misma plataforma [27].

Archistar, por ejemplo, es una plataforma que combina inteligencia artificial con la tecnología blockchain para registrar los derechos de propiedad intelectual de los diseños arquitectónicos, y *BIMCHAIN* integra esta tecnología con BIM.

5.2. Cadena de suministro

La cadena de suministro de materiales de arquitectónicos está formada por complejas redes que abarcan la producción, transporte, almacenamiento y entrega de los materiales necesarios para la construcción y renovación de inmuebles. Estos materiales incluyen desde ladrillos y cemento, hasta ventanas, puertas y sistemas de climatización. Dentro de los procesos que conforman la cadena de suministro intervienen los proveedores de materias primas, fabricantes, distribuidores, minoristas, contratistas y constructores. Estos deben enfrentarse a diferentes retos dentro de sus quehaceres habituales: interrupciones en la producción, costos y precios volátiles, adaptación a la tecnología y digitalización, etc.

Con la ayuda del blockchain, se puede rastrear la procedencia de los materiales de construcción asegurando que cumplan con ciertos estándares de calidad y sostenibilidad; se conseguiría la transparencia en el sector al quedar registradas todas las transacciones y, gracias a estos registros, las empresas podrían gestionar mejor sus inventarios, evitando excesos o escasez de materiales; los contratos inteligentes automatizarían los acuerdos entre las partes, asegurando que los pagos sólo se realicen cuando se cumplan ciertas condiciones, como la entrega de materiales en tiempo y forma; se reducirían los costos al reducir los intermediarios (hasta un 8,3% en total [28]); aumentaría la seguridad y confianza gracias a la inmutabilidad de los datos, lo que ayudaría en la prevención de fraudes; y se podría rastrear la huella de carbono de los materiales y procesos, ayudando a las empresas a cumplir con las normativas ambientales y a tomar decisiones más sostenibles [29]. Gracias al blockchain, si hubiera algún problema de calidad o demora, se podría rastrear rápidamente la causa y responsabilizar a las partes correspondientes, mejorando la resolución de problemas y minimizando interrupciones.

En la empresa *Provenance* ya utilizan la tecnología blockchain para rastrear el origen de materiales de construcción.

5.3. Certificación energética de edificios y Sostenibilidad

Las certificaciones energéticas de inmuebles son evaluaciones que miden la eficiencia energética de un edificio o vivienda. Estas certificaciones, a menudo obligatorias en muchos países, proporcionan información sobre el consumo de energía y las emisiones de CO₂, lo que ayuda a los propietarios y ocupantes a entender y mejorar el rendimiento energético de sus propiedades.

La inmutabilidad de esta tecnología haría que se pudieran registrar todas las actividades relacionadas con la certificación energética de un edificio (recolección de los datos, auditorías, actualizaciones de certificaciones, etc.), así como todos los datos posteriores de consumo energético e inspecciones futuras para crear un historial energético del edificio [30]. Estos datos serían accesibles para poder ser verificados en caso de necesitarlo algún particular, empresas que quisieran hacer benchmarking energético (estudios de estrategias y rendimientos de sus competidores), etc. La capacidad del blockchain para interoperar con otros sistemas y plataformas simplificaría la gestión de la certificación energética integrando datos de diferentes fuentes en un mismo lugar. Al igual que en los demás sectores en los que se realizan contratos, los Smart contracts pueden automatizar varios aspectos del proceso de certificación, como la validación de datos y emisión de certificados, reduciendo el tiempo y los costos asociados.

Una aplicación interesante a la hora de gestionar la energía sería la posibilidad de crear *microgrids* (redes descentralizadas de fuentes de electricidad) gracias a los sistemas de creación de energía de los inmuebles, como las placas solares, donde los residentes pudieran generar y vender la energía sobrante entre ellos de manera segura y transparente [31].

En la plataforma *Power Ledger* ya se permite el comercio de energía renovable con blockchain y *Enerchain* es una iniciativa que lo utiliza para gestionar e intercambiar certificados energéticos.

6. Blockchain en el Sector Inmobiliario

El blockchain puede aplicarse de diferentes formas una vez el bien inmueble ya se ha construido, por ejemplo, para mejorar aspectos de su gestión, operación y mantenimiento. Esta implementación puede requerir una integración cuidadosa con los sistemas y procesos actuales, pero las ventajas en términos de seguridad, transparencia y eficiencia pueden justificar la inversión. En las siguientes líneas, se explicará cómo y en qué actividades dentro del sector inmobiliario puede aplicarse.

6.1. Registro inmobiliario público

El registro inmobiliario es un sistema que garantiza la publicidad y seguridad jurídica de los derechos sobre los bienes inmuebles. A pesar de los avances que está experimentando en los últimos tiempos, el registro inmobiliario enfrenta varios desafíos que deben ser abordados para mejorar su eficiencia y alcance: lograr una digitalización completa, incluyendo la migración de registros antiguos; mejorar la cooperación y el intercambio de información a nivel internacional, permitiendo un registro inmobiliario global que facilite las inversiones y transacciones transfronterizas; asegurar que los registros sean seguros frente a ciberataques; y garantizar que todos los ciudadanos, independientemente de sus recursos, tengan acceso a los servicios registrales [32].

El blockchain tendría la capacidad de mejorar, prácticamente, todas estas cuestiones. Como ya se ha comentado anteriormente, su inmutabilidad y transparencia garantizarían un registro histórico confiable, lo que permitiría una trazabilidad completa de la propiedad. A su vez, con la implementación de contratos inteligentes se automatizarían muchas de las tareas que, actualmente, realizan intermediarios (como notarios o registradores), lo que reduciría los costos y tiempo asociados a las transacciones. Esta información estaría disponible en cualquier momento y lugar, cosa que facilitaría transacciones más rápidas y eficaces, incluso a nivel internacional. Gracias a su interoperabilidad, se podrían coordinar mejor diferentes sistemas de registro inmobiliario y otras bases de datos relevantes, como registros fiscales y de hipotecas. Por último, al digitalizar todos los procesos de registro, se reduciría la necesidad de documentos físicos, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia administrativa [33].

En este capítulo, cabe mencionar el concepto de catastro, registro administrativo que incluye la descripción, ubicación y valor de los bienes inmuebles dentro de un país o región determinada. Este registro, mantenido por organismos gubernamentales, tiene varios propósitos, entre los cuales están la valoración de propiedades para el cobro de impuestos, la planificación urbana y la administración de recursos territoriales. Los elementos clave del catastro incluyen la descripción física del edificio, datos precisos sobre la ubicación geográfica, una estimación del valor de la propiedad y la titularidad. A parte de las ventajas mencionadas en el párrafo anterior, el uso del blockchain podría permitir la integración del catastro con otras tecnologías. Por ejemplo, con el Internet de las Cosas (IoT), en el cual los sensores IoT podrían proporcionar datos en tiempo real sobre las propiedades, que se podrían registrar automáticamente en la blockchain. Un ejemplo de ello sería la actualización de linderos de una propiedad, en el que si se realiza una modificación de estos, pueden ser actualizados garantizando la autenticidad y precisión de esta actualización. Se conseguiría un sistema catastral más avanzado. A su vez, sería altamente beneficioso guardar datos espaciales más específicos de los edificios (número de habitaciones, dimensiones, etc.), ya que se crearía un sistema completamente preciso.

Lantmäteriet, la agencia de registro de tierras de Suecia, ha estado probando un sistema que digitaliza todo el proceso de compra de bienes raíces desde el año 2016; la *National Agency of Public Registry (NAPR)* de Georgia lleva colaborando, desde el 2016, con la empresa *Bitfury* para desarrollar un sistema de registro basado en blockchain; y en Honduras, en 2015, el gobierno anunció una colaboración con *Factom* para desarrollar e implementar esta tecnología en el registro de tierras.

6.2. Transacciones inmobiliarias

Las transacciones inmobiliarias comprenden la compra, venta y alquiler de propiedades. Son esenciales para el funcionamiento del mercado inmobiliario y tienen un impacto significativo en la economía general. Estas transacciones no solo reflejan la salud del sector inmobiliario, sino que también influyen en la estabilidad financiera y en las oportunidades de inversión.

Las transacciones inmobiliarias han sufrido cambios notables en los últimos años, especialmente debido a la pandemia de *COVID-19*. La demanda de viviendas en áreas suburbanas y rurales aumentó, mientras que la demanda en áreas urbanas disminuyó temporalmente. El aumento de las tasas de interés también influye en esta disminución de la demanda, haciendo que la refinanciación de hipotecas existentes sea menos atractiva para los inversores [34]. Aunque el blockchain no pueda disminuir las tasas de interés ni cambiar las preferencias de la sociedad respecto dónde quiere adquirir una vivienda para reconducir esta situación, sí puede ayudar a mejorarla de otras formas: primero, y lo más importante dentro de una operación en la que se involucra una gran cantidad de dinero, la seguridad y la confianza, gracias a la inmutabilidad y transparencia de todas las transacciones se reduce el riesgo de fraude; en segundo lugar, al ser un sector en el que se crean una gran cantidad de contratos con condiciones diversas, los Smart contracts serían de gran ayuda, automatizando muchos de los procesos y reduciendo significativamente los costos asociados; por último, facilitaría la forma de financiamiento a este tipo de transacciones a inversores más pequeños [35], gracias a la tokenización, la cual se explicará en el apartado 6.4.

Dentro del campo de las transacciones, se incluyen, también, los procesos de subastas inmobiliarias, eventos en los cuales propiedades inmobiliarias como casas, apartamentos, terrenos y otros bienes raíces, se venden al mejor postor. Estas subastas pueden ser organizadas por diferentes entidades, incluyendo instituciones gubernamentales, empresas privadas, bancos y otras organizaciones. Con el uso de la tecnología blockchain, se aseguraría que todas las ofertas quedarán registradas en tiempo y forma de manera inmutable, por lo que se aumentaría la confianza en el proceso de subasta. El uso de identidades digitales verificadas puede asegurar que solo los postores autorizados puedan participar en la subasta, reduciendo el riesgo de participación fraudulenta. Por último, los contratos inteligentes pueden automatizar varios aspectos del proceso de subasta, como la aceptación de ofertas, la adjudicación de la propiedad al ganador y la transferencia de fondos.

Propy, plataforma de bienes raíces, permite a los compradores y vendedores realizar todas las etapas del proceso de compra en línea, demostrando la viabilidad de las transacciones inmobiliarias basadas en blockchain; *SafeChain* utiliza el blockchain para mejorar la seguridad y eficiencia de las transacciones; *Atlant* es una plataforma que facilita el intercambio de bienes inmuebles y la Tokenización. Posteriormente se explicará la Tokenización, una forma novedosa de hacer transacciones e invertir con el uso de blockchain en el sector inmobiliario, y *Auctionity* es otra plataforma que permite subastas en tiempo real utilizando blockchain, enfocándose en la transparencia y accesibilidad global.

6.3. Análisis y Estudios de mercado

Para comprender las dinámicas del sector inmobiliario, estimar el valor de las propiedades, hacer las mejores inversiones posibles o, simplemente, predecir tendencias futuras, es esencial hacer los mejores análisis y estudios del mercado inmobiliario posibles. En ellos, se involucra una gran cantidad de actividades relacionadas, generalmente, con la recopilación de datos (demográficos, económicos, de inmuebles existentes, precios, encuestas, etc.), los cuales deben ser lo más fiables y ciertos posibles [36]. Por ello, la implementación de la tecnología blockchain sería tan beneficiosa en este campo, por su capacidad para registrar de manera inmutable y transparente todos estos datos y permitir la actualización en tiempo real de ellos. Esto significa que los estudios de mercado pueden basarse en los datos más actuales, lo que mejora la precisión y relevancia de los análisis. Se podrían crear, a su vez, plataformas colaborativas donde diferentes organizaciones pudieran compartir y validar los datos obtenidos en sus correspondientes estudios para crear análisis más completos reduciendo los costos de los mismos. Como ya se ha comentado anteriormente, también reduciría significativamente el riesgo de fraude, evitando la falsificación de documentos y otras prácticas ilegales que pudieran distorsionar los estudios.

6.4. Inversión inmobiliaria y Tokenización

La inversión inmobiliaria consiste en la adquisición, gestión y venta o alquiler de propiedades con el objetivo de obtener beneficios financieros. Aunque son bastantes las ventajas de las inversiones inmobiliarias (ingresos pasivos, apreciación de capital, diversificación, beneficios fiscales, etc.), las desventajas principales que tiene el invertir en este sector a la vieja usanza serían la alta inversión inicial necesaria; la poca liquidez de los activos, difíciles de vender rápidamente sin perder valor; la gestión constante que requiere por parte de los propietarios, incluyendo el mantenimiento de la propiedad y el trato con los inquilinos; y los costos ocultos como impuestos, seguros o reparaciones [37]. El uso del blockchain ofrecería varias mejoras significativas respecto a estos inconvenientes: automatización y ejecución de las transacciones, gracias a los contratos inteligentes; seguridad, reduciendo las posibilidades de fraude; y ayuda a la hora de conseguir financiamiento, pudiéndose crear plataformas de crowdfunding, permitiendo a múltiples inversores, incluso internacionales, financiar un proyecto.

A los beneficios ya comentados en los apartados anteriores relacionados con la seguridad, transparencia y reducción de costos, en este capítulo se añade la *Tokenización inmobiliaria*, proceso de dividir un activo físico (propiedades inmobiliarias) en pequeños “tokens” digitales que representan una fracción del valor del activo. Estos tokens pueden ser comprados y vendidos como si de una acción en una empresa se tratase. La tokenización permitiría a los pequeños inversores a acceder a inversiones inmobiliarias, ya que podrían comprar fracciones de la propiedad en lugar de adquirir el inmueble completo. Se reducirían las barreras de entrada, permitiendo que más personas invirtieran en el sector. Al ser pequeñas participaciones o pequeñas porciones de propiedades digitales, los tokens pueden ser comprados y vendidos fácilmente en plataformas de intercambio, proporcionando una mayor liquidez a los activos inmobiliarios y solucionando, así, uno de los mayores problemas que posee. Por último, cabe mencionar que también podrían implementarse los contratos inteligentes, automatizando y mejorando los procesos de intercambio de tokens inmobiliarios [38].

Un ejemplo de tokenización de un inmueble creado con la ayuda de ChatGPT sería el siguiente.

- 1. Selección del inmueble.** Supongamos que hay un edificio de oficinas valorado en 10M€.
- 2. Creación de una entidad legal.** Para manejar la propiedad y las transacciones, se crea una entidad legal que es la propietaria del edificio.
- 3. Emisión de tokens.** Se decide dividir la propiedad en 10.000 tokens (1.000€ por token).
- 4. Plataforma de blockchain y Contrato inteligente.** Se elige una plataforma de blockchain adecuada para la tokenización, como por ejemplo Ethereum, y se desarrolla un contrato inteligente que gobierna la emisión, compra y venta de los tokens, y que incluirá reglas para la distribución de ingresos por alquiler y otras condiciones relevantes.
- 5. Oferta inicial de tokens (ITO).** Los tokens se ponen a disposición de los inversionistas a través de una ITO. Estos tokens se pueden comprar con criptomonedas o monedas fiduciarias.
- 6. Gestión de la propiedad.** La entidad legal sigue gestionando la propiedad, recolectando ingresos por alquiler, realizando mantenimiento, etc. Los ingresos netos se distribuyen proporcionalmente entre los propietarios de los tokens, según su participación.
- 7. Comercio secundario.** Los tokens pueden ser vendidos a otros interesados cuando se desee.

Para finalizar la parte teórica, se ofrece una tabla donde se exponen los diferentes artículos seleccionados para la realización del presente estudio. En ella, se puede observar la clasificación de las fuentes por temática, el nombre de los artículos, autores y año de publicación.

CONCEPTO	TÍTULO ARTÍCULO	AUTOR/ES	AÑO
Blockchain y aplicaciones	Blockchain Technology and Application	Lee, Sae Bom; Arum, Park, ; Song, Jaemin	2021
	Business Value of Blockchain and Applications of Artificial Intelligence	JaeHyun, Seo	2018
	Diffusion of blockchain technology Insights from academic literature and social media analytics	Grover, Purva; Kar, Arpan Kumar; Janssen, Marijn	2019
	Blockchain and Its Application in the Internet of Things (IoT)	Ντοά, Γεωργία	2017
	Changing Business Paradigm and Its Application - Focused on the Block Chain Technology -	YunSeungKo; Choi, Heungseob	2017
	A comprehensive review of blockchain technology: Underlying principles and historical background with future challenges	Gautami Tripathi , Mohd Abdul Ahad , Gabriella Casalino	2023
	A survey on blockchain technology and its security	Huaqun Guo, Xingjie Yu	2021
	An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends	Zibin Zheng, Shaoan Xie, Hongning Dai, Xiangping Chen, and Huaimin Wang	2017

	Applications of Blockchain Technology in Logistics and Supply Chain Management— Insights from a Systematic Literature Review	Moritz Berneis , Devis Bartsch and Herwig Winkler	2021
	Art and Blockchain: A Primer, History, and Taxonomy of Blockchain Use Cases in the Arts	Amy Whitaker	2019
	Blockchain in the Energy Sector— Systematic Review	Anna Borkovcová , Miloslava Černá and Marcela Sokolová	2022
	Blockchain technology in healthcare: A systematic review	Huma Saeed, Hassaan Malik , Umair Bashir, Aiesha Ahmad, Shafia Riaz, Maheen Ilyas1, Wajahat Anwaar Bukhari, Muhammad Imran Ali Khan	2022
	Blockchain Technology: Its Application in the Financial Sector and Cryptonomics	Thaarun Palaniappan	2023
	Blockchain for Public Services: A Systematic Literature Review	Diego Cagigas , Judith Clifton , Daniel Diaz-Fuentes , And Marcos Fernández Gutiérrez	2021
Blockchain en Real estate	Blockchain's Grand Promise for the Real Estate Sector: A Systematic Review	Saari, Anniina; Junnila, Seppo; Vimpari, Jussi	2022
	Blockchain in real estate: Recent developments and empirical applications	Saari, Anniina; Vimpari, Jussi; Junnila, Seppo	2022
	Blochchain-based Real Estate market: one method for applying Blockchain technology in Commercial Real Estate Market	Latifi, Sobhan; Zhang, Yunpeng; Cheng, Liang-Chieh	2020

	Blockchain and real estate: Dopo di Noi project	Morena, Marzia; Truppi, Tommaso; Pavesi, Angela Silvia; Cia, Genny; Giannelli, Jacopo; Tavoni, Marco	2020
	Reshaping the Real Estate Industry Using Blockchain	Krupa, K. ShankarJois; Akhil, Maganalli S.	2019
	Can digital technologies speed up real estate transactions?	Saull, Andrew; Baum, Andrew; Braesemann, Fabian	2020
	Constraints and benefits of the blockchain use for real estate and property rights	Konashevych, Oleksii	2020
	The Potential of Blockchain in Building Construction	Dakhli, Zakaria; Lafhaj, Zoubeir; Mossman, Alan	2019
	Block Chain Application Technology to Improve Reliability of Real Estate Market	Oh, Seoyoung; Lee, Changhoon	2017
	Exploring the potentials of blockchain application in construction industry: a systematic review	Kiu, M. S.; Chia, F. C.; Wong, P. F.	2022
	The blockchain challenge for Sweden's housing and mortgage markets	Proskurovska, Anetta; Doerry, Sabine	2022
	On the impact of architecture design decisions on the quality of blockchain-based applications	Marmsoler, Diego; Eichhorn, Leo	2020
	Blockchain technology in real estate: potential future and challenges	Jreisat, A., Mili, M.	2024

Smart contracts	Implementation of real estate contract system using zero knowledge proof algorithm based blockchain	Jeong, SoonHyeong; Ahn, Byeongtae	2021
	A Study on the Improvement of Real Estate Electronic Contract System by Introducing PropTech - Focusing on BlockChain Technology -	Min, Lee Sung; Joon, Kim Hee; LEE, Myeong-Hun; Kim, Jae-Jun	2021
	A conceptual framework for blockchain smart contract adoption to manage real estate deals in smart cities	Ullah, Fahim; Al-Turjman, Fadi	2021
	Smart contracts applications in real estate: a systematic mapping study	Laarabi, Mohamed; Chegri, Badreeddine; Mohammadia, Abdelilah Maach; Lafriouni, Khaoula	2023
	Collaborative Smart Contracts (CoSC): example of real estate purchase and sale(s)	Timucin, Tunahan; Birogul, Serdar	2023
	Challenges Regarding the Application of Smart Contracts to Real Estate Transactions - Acknowledging the Gap between Blockchain and Off-chain -	Ko, Youkang	2021
	Smart Contract Application for Managing Land Administration System Transactions	Stefanovic, Miroslav; Przulj, Dorde; Ristic, Sonja; Stefanovic, Darko; Nikolic, Danilo	2022
	Smart Contract System by Blockchain of Real Estate Transaction	Rae, Kim Seung	2018
	Digitizing Physical Assets on	Coffie, Isaac; Saint, Martin	2022

	Blockchain 2.0: A Smart Contract Approach to Land Transfer and Registry		
	A Study on the Availability of Blockchain Smart Contract in Real Estate Transaction	InBang, Song; sik, Yang young	2018
	Smart Contract: Security and Privacy	Alotaibi, Leena S.; Alshamrani, Sultan S.	2021
	Blockchain and Smart Contracts to Secure Property Transactions in Smart Cities	Gutierrez, Omar Cliff Uchani; Xu, Guangxia	2023
	Secure Smart Contract Based on Elliptic Curve in Property Exchange Applications Using Blockchain	Sabah, Noor	2023
	Modernizing Contracts Across Industries: A Review of Smart Contract Applications and the Evolving Legal Landscape	Bohyer, Kiran; Hayajneh, Thaier	2024
	Regulating smart contracts: Legal revolution or simply evolution?	Ferreira, Agata	2021
Transacciones inmobiliarias en blockchain	An Empirical Analysis Study on Blockchain-Based Real Estate Transaction System	Chung,, Jay-Young; won, Suh chung	2021
	A Study on the Utilization of Real Estate Block chain to the Real Estate Transaction -Focusing on the Propy Case of International Real Estate Transaction in the United States-	In, Park	2021
	The Real Estate Transaction Trace System Model Based on Ethereum Blockchain Platform	Vo, Khoa Tan; Nguyen, Thu	2022

An Enhanced Real Estate Transaction Process Based on Blockchain Technology	Mashatan, Atefeh; Roberts, Zachary	2017
Real Estate Transactions in the Post-Corona Era : Introduction of Smart Contracts and Legal Issues	Shin, Gook mi; Kim, Jin; Gi-Seung, Kim	2021
Real Estate Transaction System in Private Blockchain Environment	Kim, SeungHo; Hyeok, Kang, ; Lee, Keun-Ho	2022
New changes in real estate transactions	Jang,, Wan Kyu	2021
Development of evaluation index for value creation of blockchain adoption in real estate electronic transaction system - Based on AHP analysis	Lee,, Sung-Min; Joon, Kim Hee; LEE, Myeong-Hun; Kim, Jae-Jun	2022
Asymmetric Information in High-Value Low-Frequency Transactions: Mitigation in Real Estate Using Blockchain	Hoksbergen, Mark; Chan, Johnny; Peko, Gabrielle; Sundaram, David	2020
Blockchain in Real Estate: Theoretical Advances and New Empirical Applications	Editado por Jreisat, Ammar; Mili, Mehdi	2024
A Study on the Improvement of Real Estate Registrar System Using Block Chain	Jin, Kim	2019
Blockchain Property Registry and Smart Contract	Han,, Zonghie	2021
Blockchain technology in commercial real estate transactions	Wouda, Hugo Pieter; Opdenakker, Raymond	2019
BlockChain to Prevent Fraudulent Activities: Buying and Selling Property Using BlockChain	Bhanushali, Dipika; Koul, Akshara; Sharma, Sainiranjan; Shaikh, Bushra	2020

	EBSS: A secure blockchain-based sharing scheme for real estate financial credentials	Wu, Yadi; Tie, Guiyao; Yu, Yao; Li, Jianxin; Song, Jun	2023
	A Study on the Smart Contract and Real Property Transaction System	PARK,, KIJU	2019
	Digitization of Land Record Through Blockchain-based Consensus Algorithm	Yadav, Amrendra Singh; Kushwaha, Dharmender Singh	2021
	A Decentralised Real Estate Transfer Verification based on Self-Sovereign Identity and Smart Contracts	Shehu, Abubakar-Sadiq; Pinto, Antonio; Correia, Manuel E.	2022
	Future Tasks for Vitalization of the Real Estate Transaction Electronic Contract System	Kim,, Mi Suk; Soon, Jang Hee	2022
	Blockchain land transfers: Technology, promises, and perils	Ooi, Vincent; Peng, Soh Kian; Soh, Jerrold	2022
	An Efficient and Novel Buyer and Seller's Distributed Ledger Based Protocol Using Smart Contracts	Kumar, Priyanka; Dhanush, G. A.; Srivatsa, D.; Aakash, S. Nithin; Sahisnu, S.	2021
Registro inmobiliario público	A Study on the Principles and Application of the Blockchain Real Estate Registry	Han, Zonghie	2018
	Application of Blockchain Technology to Real Estate Registration and Legal Issues	Jeong, Chun Hee	2021
	Dutch blockchain, real estate and land registration	Veuger, Jan	2020
	A Study on the Blockchain-based Real Estate Registration System	Shin,, Gook mi	2021
	A Blockchain-Based Real Estates Registration System	Mohamed, A.A.A.E., Kumar, B.V.D., Yew, T.J.	2024

	Opportunities and Barriers of Using Blockchain in Public Administration: The Case of Real Estate Registration in Kazakhstan	Akhmetbek, Yerlan; Spacek, David	2021
	Blockchain Technology for Rural Property Registration	Fernanda Tarazona, Adriana; Lopez Rivero, Alfonso Jose; Roman Gallego, Jesus Angel	2022
	Is blockchain technology the future of land registry digitalization?	Desic, Josip; Lenac, Kristijan	2020
	Current Status, Requirements, and Challenges of Blockchain Application in Land Registry	Shuaib, Mohammed; Alam, Shadab; Ahmed, Rafeeq; Qamar, S.; Nasir, Mohammed Shahnawaz; Alam, Mohammad Shabbir	2022
	Identity Model for Blockchain-Based Land Registry System: A Comparison	Shuaib, Mohammed; Hassan, Noor Hafizah; Usman, Sahnius; Alam, Shadab; Bhatia, Surbhi; Koundal, Deepika; Mashat, Arwa; Belay, Assaye	2022
	Efficient and Accurate Property Title Retrieval Using Ethereum Blockchain	Joshi, Sae M.; Rajeswari, K.	2021
	A scalable trust based consensus mechanism for secure and tamper free property transaction mechanism using DLT	Yadav, Amrendra Singh; Singh, Nikita; Kushwaha, Dharmender Singh	2021
Valor y alquiler de inmuebles	Blockchain Real Estate Relational Value Survey	Seigneur, Jean-Marc; Pusterl, Sophie; Socquet-Clerc, Xavier	2020
	Housing Rental Scheme Based on Redactable Blockchain	Wang, Chunli; Jia, Wensheng; Chen, Yuling	2022

Gestión inmobiliaria	Real Estate Management via a Decentralized Blockchain Platform	Ahmad, Iftikhar; Alqarni, Mohammed A.; Almazroi, Abdulwahab Ali; Alam, Laiba	2021
	Blockchain in Civil Engineering, Architecture and Construction Industry: State of the Art, Evolution, Challenges and Opportunities	Plevris, Vagelis; Lagaros, Nikos D.; Zeytinci, Ahmet	2022
	Digitalizing land administration: The geographies and temporalities of infrastructural promise	Rodima-Taylor, Daivi	2021
	T-PASS: A Blockchain-based NFT Enabled Property Management and Exchange System	Hari, M. K.; Agrawal, Ankit; Bhatia, Ritika; Bhatia, Ashutosh; Tiwari, Kamlesh	2023
	Digital land management technologies	Papaskiri, T. V.; Semochkin, V. N.; Alekseenko, N. N.; Krasnyanskaya, E. V.; Zatsepina, E. A.	2022
Tiempo e intermediarios en Real estate	Legal challenges and opportunities of blockchain technology in the real estate sector	Garcia-Teruel, Rosa M.	2020
Blockchain en el Catastro	Ethereum Smart Contract Deployment for a Real Estate Management System (REMS) Implemented in Blockchain	Aliti, Admirim; Apostolova, Marika; Luma, Artan; Aliu, Azir; Fetaji, Majlinda; Snopce, Halil	2023
	Land Registry Framework Based on Self-Sovereign Identity (SSI) for Environmental Sustainability	Shuaib, Mohammed; Hassan, Noor Hafizah; Usman, Sahnus; Alam, Shadab; Bhatia, Surbhi; Agarwal, Parul; Idrees, Sheikh Mohammad	2022
Tokenización	Tokenization of Real Estate Assets Using Blockchain	Joshi, Shashank; Choudhury, Arhan	2022

	Tokenization of Real Estate Using Blockchain Technology	Gupta, Ashutosh; Rathod, Jash; Patel, Dhiren; Bothra, Jay; Shanbhag, Sanket; Bhalerao, Tanmay	2020
	Empirical evidence on the ownership and liquidity of real estate tokens	Swinkels, Laurens	2023
	Tokenization-The Future of Real Estate Investment?	Baum, Andrew	2021
	Commercial Property Tokenizing With Smart Contracts	Norta, Alex; Fernandez, Chad; Hickmott, Stefan	2018
	Asset tokenization in plain English	Sazandrishvili, George	2019
	The digital tokenization of property rights. A comparative perspective	Garcia-Teruel, Rosa M.; Simon-Moreno, Hector	2021
	Non-Fungible Tokens Based on ERC-4519 for the Rental of Smart Homes	Arcenegui, Javier; Arjona, Rosario; Baturone, Iluminada	2023
	Fintech and Tokenization: A legislative study in Argentina and Spain about the application of Blockchain in the field of properties	Cesar Schmidt, Walter; Gonzalez-Briones, Alfonso	2021
	Smart Property and Smart Contracts Under Spanish Law in the European Context	Comelles, Cristina Argelich	2022
	Asset Tokenization and Trading Using Blockchain Technology - Strategic Use of Technology in The Financial Sector -	Cearnau, Dan C.	2021
	The use of tokens for real estate transactions	Sevilla, Luis Javier Arrieta	2024
	Tokenization in Real Estate: Opportunities and Challenges	Schmid, Elena; Truebestein, Michael; Daniel Aepli, Matthias	2024

Desafíos y Oportunidades del Blockchain en Real estate	Challenges and Opportunities using MultiChain for Real Estate	Avantaggiato, Mirko; Gallo, Pierluigi	2019
Adopción del blockchain en el Sector inmobiliario	Study of factors influencing the decision to adopt the blockchain technology in real estate transactions in Kosovo	Hoxha, Visar; Sadiku, Sara	2019
Blockchain en recursos humanos	The Impact of Blockchain Technologies on Recruitment Influencing the Employee Lifecycle	Peisl, Thomas; Shah, Bahadur	2020
	HR Digital Transformation: Blockchain for Business	Dash, Sujata Priyambada	2024
Blockchain en subastas de inmuebles	A Study on Court Auction System using Ethereum-based Ether	Kim, Hyo-Jong; KUN-HEE, HAN; Shin, Seung-Soo	2021
	A Decentralized Auction Model for Sustainable Housing Rental Market	Guan, Qinghui; Jang, Huisu	2023
	An Ethereum-based implementation of English, Dutch and First-price sealed-bid auctions	Pop, Claudia; Prata, Mirela; Antal, Marcel; Cioara, Tudor; Anghel, Ionut; Salomie, Loan	2021
	Development of a Distributed Blockchain eVoting System	Awalu, Ishaku Liti; Kook, Park Hung; Lim, Joa San	2020
Blockchain y sostenibilidad en Real estate	Assessing the usability of blockchain for sustainability: Extending key themes to the construction industry	Figueiredo, Karoline; Hammad, Ahmed W. A.; Haddad, Assed; Tam, Vivian W. Y.	2022
	GreenBlocks: A New Green Building Rating System Created on the Blockchain	Bacorn, Kristen	2020

	A new blockchain digital MRV (measurement, reporting, and verification) architecture for existing building energy performance	Woo J, Kibert CJ, Newman R, Kachi ASK, Fatima R, Tian Y.	2020
Blockchain en ciclo de vida de edificios	Information management throughout the life cycle of buildings - Basics and new approaches such as blockchain	Ganter, M.; Luetzkendorf, T.	2020
Blockchain en Smart cities	Smarter and resilient smart contracts applications for smart cities environment using blockchain technology	Margret, M. Kavitha; Julie, E. Golden	2024
	Secure-reliable smart contract applications based blockchain technology in smart cities environment	Varfolomeev, Alexander A.; Alfarhani, Liwa H.; Oleiwi, Zahraa Ch	2021
	Digitalization in Buildings and Smart Cities on the Way to 6G	Konhaeuser, Walter	2021
	Harnessing technology for mitigating water woes in the city of Bengaluru	Iyer, L. S.; Giri, S. V.	2020
	Smart Age-Friendly Villages: Literature Review and Research Agenda	Dokl, Dejan; Rogelj, Valerija; Bogataj, David	2022
Comercio de derechos en altura	The Potential of Blockchain within Air Rights Development as a Prevention Measure against Urban Sprawl	Allam, Zaheer; Jones, David Sydney	2019
Registro de datos espaciales	Spatial Blockchain: Enhancing Spatial Queries and Applications through Integrating Blockchain and Spatial Database Technologies	Bao, Yi; Gui, Zhiming; Sun, Zhongxiang; An, Zhengyang; Huang, Zhou	2023

	Libro del Edificio Electronico (LdE-e): Advancing towards a Comprehensive Tool for the Management and Renovation of Multifamily Buildings in Spain	Espinoza-Zambrano, Paul; Marmolejo-Duarte, Carlos; Garcia-Hooghuis, Alejandra	2023
Blockchain para estudio de ubicación favorable para inversión inmobiliaria	A novel architecture to identify locations for Real Estate Investment	Kumar, E. Sandeep; Talasila, Viswanath; Pasumarthy, Ramkrishna	2021
Rastreo/seguimiento de suministros	Transforming the Supply-chain management and Industry Logistics with Blockchain Smart Contracts	Terzi, Sofia; Zacharaki, Angeliki; Nizamis, Alexandros; Votis, Konstantinos; Ioannidis, Dimosthenis; Tzovaras, Dimitrios; Stamelos, Ioannis	2019
	Applications of Blockchain Technology in Logistics and Supply Chain Management— Insights from a Systematic Literature Review	Moritz Berneis , Devis Bartsch and Herwig Winkler	2021
	Blockchain applied to the construction supply chain: A case study with threat model	Gjorgji Shemov, Borja Garcia de Soto, Hoda Alkhzaimi	2020
Criptomonedas	Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System	Satoshi Nakamoto	2008
	Bitcoin and Cryptocurrency Technologies	Arvind Narayanan, Joseph Bonneau, Edward Felten, Andrew Miller, Steven Goldfeder with a preface by Jeremy Clark	2016
	Ethereum whitepaper	Buterin, Vitálik	2015
	EOS.IO Technical White Paper v2	Empresa Block.one	2018
Blockchain en Préstamos hipotecarios	Blockchain mortgage: the future of home loans	Peter Miller	2018

Tabla 2. Tabla que muestra temáticas, nombre, autores y año de publicación de los artículos seleccionados. Fuente de elaboración propia.

CONCLUSIONES

El presente estudio concluye que son diversas las aplicaciones que el blockchain puede tener dentro de todo el ecosistema inmobiliario. Entre ellas, están los procesos proyectuales, pudiendo registrarse los planos y documentación de manera inmutable; la cadena de suministro, eliminando costos y rastreando todos los procesos por los que pasa un material desde que sale de la fábrica hasta su recepción final; la certificación energética de edificios, promoviendo que los edificios se construyan cada vez de manera más sostenible, registrando todos los datos de eficiencia energética de los inmuebles; el registro inmobiliario público, creando un registro histórico confiable, transparente y seguro; las transacciones inmobiliarias, haciéndolas más seguras y autoejecutables con la ayuda de los contratos inteligentes; los análisis y estudios de mercado, permitiendo recopilar todos los datos de la manera más certera y fiable posible; y, por último, la inversión inmobiliaria y la tokenización, facilitando a los inversores minoristas la entrada a este tipo de inversiones mediante el fraccionamiento de las propiedades.

Las ventajas generales que ofrecerá esta tecnología cuando se adopte de manera generalizada en el sector son una mayor transparencia, gracias a la inmutabilidad de la red; seguridad, con el cifrado de datos y la comunicación entre todos los nodos; eficiencia y reducción de costos, al eliminar intermediarios y automatizar muchos de los procesos; y la accesibilidad global, facilitando la creación de plataformas globales permitiendo a inversores acceder a propiedades desde diferentes partes del mundo.

Existen diferentes retos a los que el sector se enfrenta a la hora de lograr la implementación completa de esta tecnología. En primer lugar, la sociedad suele ser reticente a adoptar nuevas tecnologías que puedan cambiar el paradigma de los sistemas actuales, a menos que se demuestren fehacientemente estas capacidades sin perjuicio alguno demostrable. Aunque se aprecia un creciente interés dentro del sector inmobiliario, históricamente, ha evolucionado a pasos lentos, ya que involucra procesos en los que se “apuesta” una gran cantidad de dinero, por lo que, conociendo estos datos, cabe esperar que la tecnología blockchain tarde en implementarse un tiempo, por lo menos hasta que las instituciones gubernamentales decidan dar el paso y adoptarla en sus procedimientos, previa regulación, para que pueda evolucionar de una manera justa y equitativa. A su vez, debe tenerse cuidado con la integración de esta tecnología con los sistemas existentes, ya que al ser una tecnología que evoluciona a pasos agigantados, puede ser un proceso delicado y propenso a errores. Por último, los marcos regulatorios existentes necesitan ser adaptados para acomodar esta tecnología de la mejor manera posible, por lo que se podría alargar aún más el proceso de adopción.

La transparencia y privacidad conjuntas, la inmutabilidad, seguridad y confiabilidad en los datos, y la reducción de intermediarios a causa de los contratos autoejecutables son las claves que permitirán, si se hace un uso correcto de la tecnología, que se utilice el blockchain dentro de todos los ámbitos de este sector.

Una vez habiendo estudiado las posibilidades de esta tecnología y lo que presenta, es conveniente decir, que su implementación completa no conseguirá eliminar por completo todas las limitaciones que tiene el sector inmobiliario, ya que el blockchain solo se aplica en procesos que involucren transacciones y registros de cualquier tipo, por lo que los inconvenientes relacionados con otros ámbitos, como los sociales (conflictos laborales, desigualdades, intentos de engaños, etc.) continuarán existiendo y habrá que seguir teniéndolos en mente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Curiel K. 2023-24 Top Ten Issues Affecting Real Estate® [Internet]. Counselors of Real Estate. 2023 [cited 2024 Jun 26]. Available from: <https://cre.org/external-affairs/2023-24-top-ten-issues-affecting-real-estate-narrative/>
2. De Paola P. Real Estate: Discovering the Developments in the Real Estate Sector Using the Current Research Challenges. *Real Estate*. 2024 Jun;1(1):1–3.
3. Urban Land [Internet]. 2023 [cited 2024 Jun 26]. Sustainability Outlook: Top Five Issues Affecting Real Estate in 2023. Available from: <https://urbanland.uli.org/sustainability/sustainability-outlook-top-five-issues-affecting-real-estate-in-2023>
4. Five real estate trends to look out for in 2024 | City, University of London [Internet]. City, University of London; 2024 [cited 2024 Jun 26]. Available from: <https://www.city.ac.uk/news-and-events/news/2024/january/five-real-estate-trends-to-look-out-for-in-2024>
5. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
6. Swan M. *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. O'Reilly Media, Inc.; 2015. 149 p.
7. Narayanan A, Bonneau J, Felten E, Miller A, Goldfeder S. *Bitcoin and Cryptocurrency Technologies*.
8. Buterin, Vitalik. *ethereum.org*. [cited 2024 May 27]. Ethereum Whitepaper. Available from: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>
9. Haber S, Stornetta WS. How to Time-Stamp a Digital Document. In: Menezes AJ, Vanstone SA, editors. *Advances in Cryptology-CRYPTO' 90*. Berlin, Heidelberg: Springer; 1991. p. 437–55.
10. Mougayar W. *The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology*. John Wiley & Sons; 2016. 214 p.
11. Empresa Block.one. GitHub. [cited 2024 Jun 13]. *Documentation/TechnicalWhitePaper.md* at master · EOSIO/Documentation. Available from: <https://github.com/EOSIO/Documentation/blob/master/TechnicalWhitePaper.md>
12. Charles Hoskinson. *Welcome to Cardano Docs | Cardano Docs* [Internet]. [cited 2024 Jun 21]. Available from: <https://docs.cardano.org/>
13. Cointelegraph [Internet]. 2023 [cited 2024 May 27]. Who invented NFTs?: A brief history of nonfungible tokens. Available from: <https://cointelegraph.com/explained/who-invented-nfts-a-brief-history-of-nonfungible-tokens>
14. Zheng Z, Xie S, Dai H, Chen X, Wang H. An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. In: *2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)* [Internet]. 2017 [cited 2024 Jun 16]. p. 557–64. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8029379>

15. Pilkington M. Blockchain technology: principles and applications [Internet]. Olleros FX, Zhegu M, editors. RESEARCH HANDBOOK ON DIGITAL TRANSFORMATIONS. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Ltd; 2016 [cited 2024 May 26]. 29 p. Available from: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000411747400012>
16. Tripathi G, Ahad MA, Casalino G. A comprehensive review of blockchain technology: Underlying principles and historical background with future challenges. *Decis Anal J*. 2023 Dec 1;9:100344.
17. Cointelegraph [Internet]. Cointelegraph. 2020 [cited 2024 Jun 17]. ¿Qué es el Proof of Burn (PoB)? Available from: <https://es.cointelegraph.com/explained/what-is-the-proof-of-burn-pob>
18. Guo H, Yu X. A survey on blockchain technology and its security. *Blockchain Res Appl*. 2022 Jun 1;3(2):100067.
19. Timuçin T, Biroğul S. Collaborative Smart Contracts (CoSC): example of real estate purchase and sale(s). *J Supercomput*. 2023 Aug 1;79(12):13442–61.
20. Thaarun Palaniappan T. Blockchain Technology: Its Application in the Financial Sector and Cryptonomics. In: Geibel RC, Machavariani S, editors. *Chances and Challenges of Digital Management*. Cham: Springer Nature Switzerland; 2023. p. 111–9.
21. Saeed H, Malik H, Bashir U, Ahmad A, Riaz S, Ilyas M, et al. Blockchain technology in healthcare: A systematic review. *PLOS ONE*. 2022 Apr 11;17(4):e0266462.
22. Borkovcová A, Černá M, Sokolová M. Blockchain in the Energy Sector—Systematic Review. *Sustainability*. 2022 Jan;14(22):14793.
23. Whitaker A. Art and Blockchain: A Primer, History, and Taxonomy of Blockchain Use Cases in the Arts. *Artivate J Entrep Arts*. 2019 Oct 18;8(2):21–46.
24. Steiu MF. Blockchain in education: Opportunities, applications, and challenges. *First Monday* [Internet]. 2020 Aug 24 [cited 2024 Jun 22]; Available from: <https://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/10654>
25. Berneis M, Bartsch D, Winkler H. Applications of Blockchain Technology in Logistics and Supply Chain Management—Insights from a Systematic Literature Review. *Logistics*. 2021 Sep;5(3):43.
26. Cagigas D, Clifton J, Diaz-Fuentes D, Fernández-Gutiérrez M. Blockchain for Public Services: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*. 2021;9:13904–21.
27. Marmsoler D, Eichhorn L. On the impact of architecture design decisions on the quality of blockchain-based applications. *Knowl Eng Rev*. 2020 Jun 2;35.
28. Dakhli Z, Lafhaj Z, Mossman A. The Potential of Blockchain in Building Construction. *Buildings*. 2019 Apr;9(4):77.
29. Shemov G, Garcia de Soto B, Alkhzaimi H. Blockchain applied to the construction supply chain: A case study with threat model. *Front Eng Manag*. 2020 Dec 1;7(4):564–77.

30. Woo J, Kibert CJ, Newman R, Kachi ASK, Fatima R, Tian Y. A New Blockchain Digital MRV (Measurement, Reporting, and Verification) Architecture for Existing Building Energy Performance. In: 2020 2nd Conference on Blockchain Research & Applications for Innovative Networks and Services (BRAINS) [Internet]. 2020 [cited 2024 Jul 3]. p. 222–6. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9223302>
31. Konhäuser W. Digitalization in Buildings and Smart Cities on the Way to 6G. *Wirel Pers Commun.* 2021 Nov 1;121(2):1289–302.
32. Jreisat A, Mili M. Blockchain Technology in Real Estate: Potential Future and Challenges. In: Jreisat A, Mili M, editors. *Blockchain in Real Estate: Theoretical Advances and New Empirical Applications* [Internet]. Singapore: Springer Nature; 2024 [cited 2024 Jul 4]. p. 1–13. Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-99-8533-3_1
33. Mohamed AA, Kumar BVD, Yew TJ. A Blockchain-Based Real Estates Registration System. In: Hong W, Kanaparan G, editors. *Computer Science and Education Educational Digitalization.* Singapore: Springer Nature; 2024. p. 266–76.
34. PricewaterhouseCoopers. PwC. [cited 2024 Jul 5]. Emerging trends in real estate 2024. Available from: <https://www.pwc.com/us/en/industries/financial-services/asset-wealth-management/real-estate/emerging-trends-in-real-estate.html>
35. Jreisat A, Mili M, editors. *Blockchain in Real Estate: Theoretical Advances and New Empirical Applications* [Internet]. Singapore: Springer Nature; 2024 [cited 2024 Jul 6]. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/978-981-99-8533-3>
36. Fanning SF. *Market analysis for real estate : concepts and applications in valuation and highest and best use* [Internet]. Chicago, IL : Appraisal Institute; 2014 [cited 2024 Jul 7]. 702 p. Available from: http://archive.org/details/marketanalysisfo0000fann_m9i2
37. Advantages and Disadvantages of Real Estate Investment [Internet]. 2022 [cited 2024 Jul 7]. Available from: <https://www.wintwealth.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-real-estate-investment/>
38. Schmid E, Truebestein M, Aepli MD. Tokenization in Real Estate: Opportunities and Challenges [Internet]. Cham: Springer Nature Switzerland; 2024 [cited 2024 Jul 7]. (SpringerBriefs in Finance). Available from: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-55810-8>

Se ha utilizado la herramienta de inteligencia artificial ChatGPT (versión 4o del año 2024) de OpenAI para la consulta de algunos conceptos contrastando, posteriormente, la información.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla que muestra temáticas y número de artículos analizados por temática.

Tabla 2. Tabla que muestra temáticas, nombre, autores y año de publicación de los artículos seleccionados.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema simplificado del funcionamiento de una blockchain pública.

Figura 2. Esquema simplificado del funcionamiento de una blockchain privada.

Figura 3. Esquema simplificado del funcionamiento de una blockchain híbrida o de consorcio.

Figura 4. Esquema simplificado de un Árbol de Merkle.

Figura 5. Representación de la detección de los datos alterados por parte de un nodo malicioso.