



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
ICADE

TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN COMO CATALIZADOR DE LA TRANSPARENCIA DE LAS COMPAÑÍAS EN MATERIA DE SOSTENIBILIDAD

Autor: María Bravo Barnés
Director: Carmen Fullana Belda

MADRID | Junio 2024

**TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN COMO CATALIZADOR DE LA
TRANSPARENCIA DE LAS COMPAÑÍAS EN MATERIA DE
SOSTENIBILIDAD**

María
Bravo
Barnés

Resumen

La sostenibilidad es hoy en día una realidad ineludible. Nos encontramos ante un cambio de paradigma en el que se están modificando las preferencias de los inversores, quienes ahora no solo valoran el binomio rentabilidad-riesgo, sino que consideran los elementos ESG asociados a sus inversiones. Esta evolución está acompañada por una creciente normativa europea en materia de sostenibilidad, cuyo eje vertebrador es la transparencia. Las empresas, por su parte, se enfrentan al reto de adoptar modelos que potencien la transparencia y divulgación de información ESG de calidad.

En este contexto, surgen múltiples desafíos: la dificultad de rastrear datos a lo largo de complejas cadenas de suministro, el manejo eficiente de grandes volúmenes de datos, el abuso del *greenwashing*, y la desconfianza de los stakeholders. Ante esta problemática, la tecnología blockchain, con su potencial disruptivo, se presenta como una solución viable, siendo capaz de mejorar la transparencia y auditabilidad, y de aumentar la confianza y la eficiencia en la divulgación de información sostenible.

Palabras clave

Sostenibilidad, transparencia, blockchain, cadena de suministro.

Abstract

Sustainability is nowadays an inescapable reality. We are witnessing a paradigm shift where investor preferences are changing. Investors are no longer solely focused on the risk-return trade-off but are increasingly considering and caring about the ESG elements associated with their investments. This evolution is accompanied by growing European sustainability regulations, whose backbone is transparency. Companies, in turn, face the challenge of adopting models that enhance transparency and the disclosure of high-quality ESG information.

In this context, multiple challenges arise: the difficulty of tracking data along complex supply chains, the efficient handling of large volumes of data, the abuse of greenwashing,

and the mistrust of stakeholders. Faced with this issue, blockchain technology, with its disruptive potential, emerges as a viable solution, capable of improving transparency and auditability, as well as increasing trust and efficiency in the disclosure of sustainable information.

Key words

Sustainability, transparency, blockchain, supply chain.

TABLA DE CONTENIDOS

I. Índice de tablas y gráficos	6
II. Listado de siglas y abreviaturas	7
1 Introducción	9
1.1 Estado de la cuestión	9
1.2 Objetivos	9
1.3 Metodología	10
1.4 Estructura del trabajo	10
2 Marco teórico	12
2.1 Marco europeo en materia de sostenibilidad	12
2.1.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible y Acuerdo de Paris.....	12
2.1.2 Plan de Acción sobre Finanzas Sostenibles	15
2.1.3 Segundo pilar del Plan de Acción de Finanzas Sostenibles: la transparencia.17	
2.1.3.1 Normativa	18
2.1.3.2 Desafíos	19
2.2 Tecnología blockchain	20
2.2.1 Concepto de blockchain.....	20
2.2.2 Elementos y funcionamiento de blockchain	21
2.2.2.1 Bloque y criptografía	21
2.2.2.2 Nodo	24
2.2.2.3 Consenso	25
2.2.3 Categorías de blockchain	26
2.2.4 Retos de la tecnología blockchain.....	28
3 Aplicaciones de la tecnología blockchain en beneficio de la transparencia en materia de sostenibilidad	33
4 Conclusiones	35
5 Bibliografía	39

I. Índice de tablas y gráficos

Gráfico 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible	14
Gráfico 2. Qué es y qué no es la Taxonomía Europea	16
Gráfico 3. Cadena de bloques genérica	22
Gráfico 4. Sistemas de registro de datos	25
Gráfico 5. Cadenas de bloques en conflicto	29
Gráfico 6. Electricidad (medida en GWh) consumida en el año 2022	31

II. Listado de siglas y abreviaturas

Art.	Artículo
ASG	Ambiental, Social, Gobernanza
CAPEX	Capital Expenditure
CSRD	Corporate Sustainability Reporting Directive
DLT	Distributed Ledger Technology
ESG	Environmental, Social, Governance
GWh	Gigavatio hora
Mempool	Memory Pool
NFRD	Non-Financial Reporting Directive
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPEX	Operational Expenditure
P2P	Peer-to-Peer
PoS	Proof of Shake
PoW	Proof of Work

SFDR	Sustainable Finance Disclosure Regulation
UE	Unión Europea
%	Porcentaje
i.e.	Id est

1 Introducción

1.1 Estado de la cuestión

La sostenibilidad se ha consolidado como un pilar fundamental en el ámbito empresarial, con un creciente enfoque en la integración de criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) en las prácticas empresariales. El cambio de paradigma se refleja en la evolución de las preferencias de los inversores y en el aumento de la normativa europea relacionada con la sostenibilidad. Este trabajo se enfoca en el segundo pilar del Plan de Acción de Finanzas Sostenibles: la transparencia y divulgación de información ESG.

Ante la creciente presión por parte de los stakeholders, quienes demandan una transición hacia modelos productivos más sostenibles y transparentes, junto con las obligaciones normativas a nivel europeo, las empresas se ven en la necesidad de adoptar políticas y sistemas que mejoren su impacto medioambiental y social, y que impulsen la divulgación de la información extra-financiera recabada. Sin embargo, este camino está plagado de retos.

Por otro lado, surge blockchain como una tecnología emergente con un gran potencial disruptivo y transformador en el ámbito empresarial, gracias a su capacidad para proporcionar un registro de datos inmutable y a su naturaleza distribuida y descentralizada. A pesar de estas promesas, es esencial reconocer que aún existen desafíos por superar en la implementación y adopción de esta tecnología, la cual presenta ciertas vulnerabilidades.

En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es la tecnología blockchain capaz de mejorar la transparencia de las empresas en materia de sostenibilidad?

1.2 Objetivos

Para dar respuesta a la pregunta de investigación, se lleva a cabo una revisión de la literatura y de lo escrito sobre la materia. Los objetivos perseguidos son los siguientes:

- Estudiar el marco normativo europeo vigente en materia de sostenibilidad, poniendo especial énfasis en la transparencia y divulgación de información sostenible.
- Fijar los principales retos que enfrentan hoy en día las empresas en su esfuerzo por ser más transparentes.
- Determinar los componentes clave de la tecnología blockchain con el fin de comprender su estructura y atributos.
- Identificar los desafíos y limitaciones en la implementación de la tecnología blockchain.
- Examinar el impacto de la tecnología blockchain en la mejora de la transparencia empresarial en materia de sostenibilidad.

1.3 Metodología

Para elaborar el presente trabajo, se ha empleado una metodología cualitativa basada en la revisión de la literatura. Se ha realizado una búsqueda exhaustiva de fuentes académicas y documentos relevantes empleando plataformas como Google Scholar, Aranzadi y el repositorio de la Universidad Pontificia Comillas.

La revisión de la literatura se ha centrado en la identificación de artículos, estudios, publicaciones y documentos relacionados con la sostenibilidad empresarial, la transparencia corporativa, los fundamentos de la tecnología blockchain y los usos de la cadena de bloques en el contexto de la sostenibilidad. Los datos recopilados se han analizado de manera crítica y se han sintetizado para proporcionar una respuesta contrastada y fundada a la pregunta de investigación planteada.

1.4 Estructura del trabajo

El trabajo se estructura en torno a dos secciones. En primer lugar, se desarrolla el marco teórico bajo el que se analizan exhaustivamente dos materias fundamentales. Por un lado, se estudia el marco normativo europeo en materia de sostenibilidad, las obligaciones en materia de transparencia que implica y los desafíos asociados. Por otro lado, se profundiza

en los principios básicos de la tecnología blockchain, identificándose sus atributos y vulnerabilidades.

En la segunda parte, se entrelazan los desafíos que enfrentan las empresas en términos de transparencia y divulgación de información sostenible con las características de la tecnología blockchain. En este sentido, se identifican las aplicaciones de esta tecnología para mejorar la transparencia empresarial y abordar los desafíos de las compañías.

2 Marco teórico

2.1 Marco europeo en materia de sostenibilidad

Hace más de cuatro décadas, comienza un movimiento global sin precedentes impulsado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para afrontar los desafíos relacionados con la sostenibilidad y el desarrollo sostenible, aspectos cruciales para las sociedades del siglo XXI (Pardo, 2015).

El concepto de sostenibilidad todavía carece de una definición global y homogénea. A lo largo de los años se han ido acuñando varias definiciones que reflejan el perfil transversal y holístico de la sostenibilidad. En concreto, cabría destacar la definición de desarrollo sostenible que se recoge en el Informe Brundtland, firmado en Oslo el 20 de marzo de 1987. Esta sigue siendo una referencia fundamental en el discurso actual. Se considera desarrollo sostenible aquel “que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (Asamblea General de las Naciones Unidas, 1987: 23). Esta definición ya ponía en relevancia la necesidad de ampliar el concepto de sostenibilidad a lo puramente ecológico o medioambiental, reconociendo así que otros ámbitos como el desarrollo social y económico formaban parte de esa acepción.

A lo largo de muchos años, la sostenibilidad se consideró un concepto voluntario, y no existían estándares obligatorios de reporte. En el año 2018 se produce un punto de inflexión, cuando la sostenibilidad irrumpe en la agenda europea mediante el Plan de Acción sobre Finanzas Sostenibles de la Comisión Europea. En el presente apartado, se revisarán los principales hitos en el ámbito de la sostenibilidad a lo largo de los últimos años, poniendo especial atención en la transparencia y la divulgación de información de calidad en materia de sostenibilidad por parte de las empresas.

2.1.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible y Acuerdo de Paris

En 2015, en el marco de la 70ª Asamblea de las Naciones Unidas, se aprueba la Agenda 2030 (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015). Este acontecimiento refleja el

compromiso de la Unión Europea (UE) y de los líderes gubernamentales de todo el mundo por avanzar hacia un mundo más sostenible (Gil, C. G., 2018).

La Agenda 2030, que comprende los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), representa un compromiso sin precedentes a nivel global para impulsar la acción colectiva hacia metas comunes de mejora del mundo para las futuras generaciones. En su núcleo, aborda tres pilares fundamentales del desarrollo sostenible: el aspecto económico, social y medioambiental, ofreciendo una guía para orientar la formulación de políticas globales (Gil, C. G., 2018).

Previamente, la comunidad mundial había adoptado agendas de desarrollo con metas ambiciosas, tales como la erradicación del hambre, la reducción de la pobreza y la consecución de la educación básica universal. (Gil, C. G., 2018). Este es el caso de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), aprobados en la 55ª Asamblea General de las Naciones Unidas y vigentes por un periodo de quince años, desde 2000 hasta 2015, año en el que se aprueban los ODS. La agenda estaba compuesta por 8 objetivos, desarrollados en 18 metas medibles con 48 indicadores. Sin embargo, los ODM presentaban una visión limitada del desarrollo, focalizándose en los países empobrecidos y buscando solucionar los del tercer mundo (Camarán et al., 2019).

La necesidad de expandir el enfoque del desarrollo condujo a la construcción de los ODS, que presentan una nueva configuración con objetivos más extensos y elaborados. La Agenda 2030 comprende 17 objetivos, desglosados en 169 metas medidas a través de 230 indicadores (Ayuso, 2017). Kroll (2015), asemeja los ODM a un telescopio a través de cual se mira al mundo en desarrollo buscando su progreso, mientras que equipara los ODS con un espejo en el que todos los países ven reflejadas sus políticas.

Gráfico 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible



Fuente: Naciones Unidas, 2015

La crisis climática se impone como un desafío prioritario. En este contexto, 193 países y la UE suscriben el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático (ONU, 2015), por el que se acuerda disminuir el incremento de las temperaturas a 2°C, y continuar con los esfuerzos por limitarlo a 1,5°C. Este se configura como un objetivo ambicioso con un coste elevado, lo que exige una acción conjunta y coordinada entre las autoridades gubernamentales, instituciones legislativas y los agentes financieros, que asegure una consecución exitosa y segura de los objetivos acordados.

La Agenda 2030 y el Acuerdo de París conforman los pilares fundamentales de la nueva estrategia. Ambos configuran “(...) el frontispicio de los pilares de la sostenibilidad compartida, y el Plan de Acción de la Comisión Europea sobre Finanzas Sostenibles va a cimentar esta nueva arquitectura” (Dict. CESE, 2019).

2.1.2 Plan de Acción sobre Finanzas Sostenibles

En el ámbito de los mercados financieros, identificamos tres perspectivas clave: los riesgos, las inversiones sostenibles y la transparencia. Este mismo razonamiento es el que se emplea en el Plan de Acción sobre Finanzas Sostenibles de la Comisión Europea, el cual busca el respaldo de la Agenda 2030 y del Acuerdo de París por parte del sistema financiero.

El Plan de Acción sobre Finanzas Sostenibles se configura en torno a tres grandes objetivos:

1. Redirigir los flujos de capital privado hacia las inversiones sostenibles.
2. Promover la transparencia.
3. Integrar la sostenibilidad en la gestión del riesgo.

En relación con el tercer pilar, las compañías deben reconocer que los eventos de carácter extra-financiero pueden tener un impacto (coste) significativo sobre el valor económico de los activos. Existen riesgos extra-financieros tanto a nivel macroeconómico como microeconómico. Los macroeconómicos incluyen riesgos físicos derivados del deterioro de los activos debido al cambio climático y la mayor frecuencia de catástrofes naturales, riesgos de transición resultantes de nuevas dinámicas de mercados, y riesgos de litigio relacionados con responsabilidades legales bajo la nueva normativa. Los riesgos extra-financieros microeconómicos se refieren a las prácticas empresariales de las compañías y a cómo estas gestionan los riesgos extra-financieros.

Estos riesgos, conocidos como riesgos ASG (ambiental, sociales y de gobernanza) o ESG en inglés (environmental, social, governance), son medidos por los ratings ASG. Sin embargo, estos presentan problemas como el elevado grado de heterogeneidad entre los ratings ofrecidos por distintos proveedores.

En lo que respecta al primer pilar del Plan de Acción, la transición económica hacia un nuevo modelo productivo sostenible conlleva un volumen de inversión extraordinario y sin precedentes en la economía moderna, exceptuando los periodos de postguerra. Por

consiguiente, los mercados financieros desempeñan un papel crucial al reorientar los modelos y tecnologías productivas hacia una economía neutra en carbono.

En este contexto, resulta imperativo atender al sector o la actividad económica que se está financiando, identificando aquellos que contribuyan a abordar los desafíos sociales y ambientales. Es esencial canalizar los flujos de inversión hacia estos sectores con el propósito de respaldar la transición hacia un modelo económico sostenible.

Las taxonomías nacen, tanto a nivel europeo como mundial, con la vocación de identificar las inversiones sostenibles. No existe una taxonomía común debido a la diversidad de características e intereses de los distintos países, los cuales buscan abordar desafíos propios y específicos.

La taxonomía de la UE representa una herramienta de transparencia, científicamente fundamentada, para ayudar a las empresas y los inversores a identificar potenciales inversiones de carácter sostenible, así como para expresar o divulgar su grado de alineación con la misma. Se trata de un sistema de clasificación que proporciona una comprensión de las actividades económicas que contribuyen sustancialmente a los objetivos climáticos y medioambientales de la UE (EQA, 2023).

Gráfico 2: Qué es y qué no es la Taxonomía Europea

	Una lista de actividades económicas y criterios técnicos.	Una calificación de empresas “buenas” o “malas”.	
	Flexible para adaptarse a diferentes estilos y estrategias de inversión.	Una lista obligatoria para invertir.	
	Basado en la ciencia.	Juzgar los rendimientos financieros de una inversión.	
	Dinámica, respondiendo a los cambios.	Inflexible o estático.	

Fuente: Elaboración propia basada en Antuña, 2023.

La Taxonomía de la UE no se limita a una clasificación binaria; en cambio, emplea dos criterios principales: elegibilidad y alineación. Estos criterios se basan en indicadores como el porcentaje de ingresos o el porcentaje de CAPEX u OPEX de la empresa

(Antuña, 2023). Al aplicar los criterios, las actividades se clasifican en no elegibles, elegibles y alineadas. Las actividades no elegibles son aquellas que no figuran en la lista de la taxonomía europea. Tanto las actividades elegibles como las alineadas están incluidas en dicha lista, pero se diferencian en que las primeras no cumplen los criterios técnicos establecidos, mientras que las segundas sí lo hacen.

El reglamento de divulgación de información relativa a la sostenibilidad en el sector de los servicios financieros (SFDR, por sus siglas en inglés), presenta por primera vez una definición de productos de inversión sostenible. El Art. 6 SFDR no se reconoce como una categoría de producto de inversión sostenible, ya que se trata de una herramienta de gestión de riesgos. Este precepto establece la necesidad de divulgar si una empresa integra o no los riesgos de sostenibilidad. Mediante este artículo, la Comisión enfatiza que la integración de riesgos es una práctica transversal en todas las actividades de inversión.

Los Arts. 8 y 9 SFDR establecen categorías de productos de inversión sostenible. El Art. 8 se refiere a productos que promueven características medioambientales o sociales, aunque no tengan un objetivo sostenible específico. Estos productos pueden abarcar diversas estrategias de inversión, como la estrategia *best-in-class* o las exclusiones. En contraste, el Art. 9 se aplica a productos que persiguen un objetivo sostenible concreto. Aquí, la promoción de características medioambientales o sociales no es suficiente; es necesario que las actividades económicas contribuyan a un objetivo medioambiental o social, tal como se define en el Art. 2(17) SFDR.

El segundo pilar del Plan de Acción, la transparencia, se analiza de manera más detallada en el siguiente apartado, dado que constituye el foco principal del presente trabajo.

2.1.3 Segundo pilar del Plan de Acción de Finanzas Sostenibles: la transparencia

Al revisar la normativa derivada del Plan de Acción de Finanzas Sostenibles, se observa un punto común: la transparencia. Esta se erige como el eje vertebrador de toda la normativa europea en este ámbito.

2.1.3.1 Normativa

La transparencia constituye un principio de responsabilidad empresarial fundamental para generar confianza en el mercado y atraer capital, así como para reducir los conflictos de agencia en las compañías. Esta permite a los inversores conocer la situación de la compañía y a los accionistas ejercer sus derechos de manera informada.

La divulgación de información y transparencia es de tal importancia en el establecimiento de cualquier sistema de gobierno corporativo que se incluye en los Principios de Gobierno Corporativo de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico y el G20 (OCDE, 2016), los cuales han inspirado los sistemas de gobierno corporativo de las compañías e instado a los propios reguladores a introducir en las leyes principios de buena gobernanza societaria.

En concreto, el principio V reza “el marco del gobierno corporativo garantizará la comunicación oportuna y precisa de todas las cuestiones relevantes relativas a la empresa, incluida la situación financiera, los resultados, la propiedad y sus órganos de gobierno” (OCDE, 2016: 41). La última modificación de estos principios, aprobada en septiembre de 2023, introduce una mención específica a la sostenibilidad, revisando el principio V de la siguiente manera: “(...) incluida la situación financiera, la gestión, la sostenibilidad, la propiedad y el gobierno” (OECD, 2024: 33). Asimismo, incorpora un apartado específico (principio VI) referido a la sostenibilidad y resiliencia.

El principio V exige en cualquier tipo información, tanto de carácter financiero como de sostenibilidad, los siguientes tres requerimientos como altos estándares de calidad en la información: claridad, consistencia y compatibilidad.

La nueva Directiva 2022/2464 sobre presentación de información sobre sostenibilidad por parte de las empresas (CSRD, en adelante) es de especial importancia en cuanto a la mejora de la calidad de la información sobre sostenibilidad. La directiva modifica la Directiva 2014/95 sobre divulgación de información no financiera (NFRD, en adelante), la cual fue transpuesta al ordenamiento español a través de la Ley 11/2018, de 28 de diciembre.

La CSRD responde a diferentes motivos, incluyendo la necesidad de cerrar el desajuste entre la demanda de información de los usuarios y la calidad de la información sobre sostenibilidad proporcionada por las empresas, así como la homogeneidad y dificultad de comparar dicha información. Tiene como fin implementar normas más estrictas a las compañías en la creación de los informes de sostenibilidad, para así potenciar la transparencia y permitir la comparabilidad de datos ESG de las empresas facilitando a los inversores la toma de decisiones informadas y sostenibles (Salgado, 2024).

Entre las medidas introducidas destacan las siguientes. Se exigen nuevas condiciones a la información que debe proporcionarse (como información adicional sobre la cadena de valor), se armonizan las normas de presentación de informes sostenibles, se establecen directrices para auditar la información y se introduce el principio de doble materialidad. Este último consiste en que las compañías deberán analizar su impacto tanto de dentro hacia fuera (materialidad de impacto), como de fuera hacia dentro (materialidad financiera) identificando los riesgos ESG que impacten a la organización (Cuatrotercios, 2023).

2.1.3.2 Desafíos

Existe una clara tendencia hacia la búsqueda de una mayor transparencia en el ámbito corporativo. Sin embargo, alcanzar este objetivo plantea diversos desafíos. Ese apartado examina las dificultades inherentes a la implementación de un sistema que apueste por la divulgación clara y precisa de información no financiera.

El primer reto radica en la incapacidad de los sistemas de las compañías para rastrear y consolidar datos de manera confiable, especialmente en el caso de empresas con complejas cadenas de suministro. La complejidad inherente a estas cadenas, que abarcan múltiples países, proveedores y procesos, dificulta la recopilación precisa de información necesaria para evaluar el desempeño de la empresa en materia de sostenibilidad. La dificultad en la trazabilidad de los datos a lo largo de las cadenas de suministro subraya la necesidad de desarrollar y mejorar los sistemas de seguimiento y reporte de datos, para que estos sean capaces de ofrecer una visión completa de las prácticas empresariales y del impacto medioambiental y social total de la cadena de suministro.

Un segundo desafío es el manejo de grandes volúmenes de datos recopilados. Esto implica la estructuración adecuada de los datos, su almacenamiento y la transferencia segura de la información (Gaynor et al., 2020). La gestión inadecuada de los datos recabados puede conllevar la pérdida de información o la generación de inconsistencias. Esto dificultar la capacidad de las empresas para llevar a cabo un análisis efectivo sobre dicha información y tomar decisiones informadas basadas en datos sólidos. En este sentido, desarrollar sistemas robustos y eficientes para la gestión de datos constituye un desafío crucial para garantizar la transparencia.

Un tercer obstáculo que superar es el abuso del lavado verde (*greenwashing*, en inglés). Este término es la intersección entre dos comportamientos empresariales: un rendimiento ambiental deficiente y una comunicación positiva sobre el rendimiento ambiental (Delmas y Burbano, 2011). Esta práctica socava la confianza de los inversores y consumidores, los cuales tendrán dificultades para identificar las comunicaciones verdaderas y no caer en el escepticismo, el cual perjudicaría a las empresas que verdaderamente actúan diligentemente (De Freitas Netto et al., 2020). Es necesario encontrar sistemas y aplicar medidas que garanticen la veracidad de los datos y la información divulgada (De Filippi, 2020).

2.2 Tecnología blockchain

En esta segunda sección del marco teórico, se explorará la tecnología blockchain con el propósito de comprender sus atributos y funcionamiento. Asimismo, se señalarán los desafíos que persisten en su implementación, lo que permitirá una comprensión integral de esta tecnología.

2.2.1 Concepto de blockchain

El sistema *blockchain*, conocido también como ‘cadena de bloques’, fue concebido en el año 1991 por una pareja de investigadores estadounidenses, Stuart Haber y W. Scott Stornetta. Pero no se llevó a la práctica hasta 2008, cuando en el artículo titulado “A Peer-to-Peer Electronic Cash System” y bajo el pseudónimo de Satoshi Nakamoto, se propuso su implementación mediante la creación de la primera criptomoneda digital de la historia: Bitcoin (Sakiz y Gencer, 2019).

Blockchain se asocia comúnmente con Bitcoin y otras criptomonedas, ya que constituye la tecnología subyacente. Sin embargo, sus capacidades van mucho más allá. Se trata de una tecnología emergente con un enorme potencial disruptivo en el contexto empresarial, permitiendo impulsar y mejorar sustancialmente la transparencia, la auditabilidad, la confianza y la eficiencia.

La Tecnología de Registro Distribuida (*Distributed Ledger Technology* o *DLT*, en inglés) es un sistema que permite registrar y compartir información en un libro mayor (ledger, en inglés) distribuido entre los participantes de la red (Krause et al., 2017). Blockchain representa una categoría específica de DLT. En su definición más elemental, es un sistema de registro de información mediante bloques. Se trata de una base de datos distribuida que almacena y transmite datos en paquetes llamados ‘bloques’, relacionados entre sí matemáticamente y protegidos criptográficamente, dando lugar a una cadena (Preukschat, 2017).

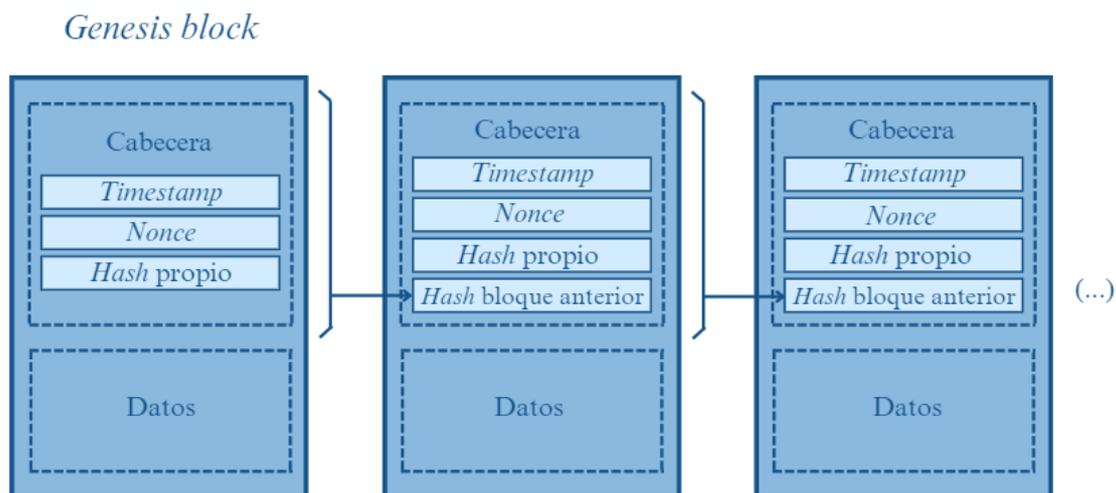
2.2.2 Elementos y funcionamiento de blockchain

Con el fin de facilitar la comprensión de la tecnología blockchain, resulta conveniente definir sus elementos básicos: los bloques, la criptografía, los nodos, el protocolo, la red entre pares (*Peer-to-Peer* o *P2P*, en inglés), y el consenso.

2.2.2.1 Bloque y criptografía

Tal y como su propio nombre indica, blockchain es una cadena de bloques. Cada uno de los bloques está compuesto por una cabecera (*block header*, en inglés) y por los datos o información en él almacenados (*block data*, en inglés) (Mell et al., 2018), cuya naturaleza dependerá de la clase de blockchain en cuestión. Un ejemplo de información registrada en un bloque es una transacción que involucra a uno o más usuarios de la red blockchain y la firma digital del usuario que la envía. La cabecera contiene el número del bloque, al que se refieren en ocasiones como altura del bloque, el tamaño del bloque, una marca temporal (*timestamp*, en inglés), el hash propio del bloque, el hash del bloque anterior y el valor *nonce* (Mell et al., 2018).

Gráfico 3: Cadena de bloques genérica



Fuente: Elaboración propia basada en Mell et al., 2018

“[E]l código hash es una sucesión alfanumérica (letras y números) de longitud fija, que identifica o representa un conjunto de datos determinados (...)” (Signaturit Group, 2024). En el caso de la blockchain, el hash sirve para identificar cada bloque y su contenido, por lo que es único e irrepetible. Se asimila a una huella dactilar o ADN del bloque. El término ‘hash’ en inglés se traduce como «picar» o «moler», lo que ilustra cómo se genera: aplicando un algoritmo matemático (función hash) a los datos del bloque (Preukschat, 2017). El resultado obtenido, conocido como hash *digest*, es el código alfanumérico que representa al bloque.

El hash constituye el primer elemento entre varios de la tecnología blockchain que garantiza la inmutabilidad de los datos registrados, pues la función matemática arrojará el mismo resultado al aplicarse sobre los mismos datos o *input* (Franzoni et al., 2017). En consecuencia, si los datos del bloque son alterados, la función proporcionará un resultado distinto y el hash del bloque cambiará. A este fenómeno se le denomina encriptación, y por ello se afirma que los bloques están protegidos y cifrados criptográficamente. La función hash es unidireccional, lo que significa que a partir de los datos de entrada genera el código hash, pero a partir del código hash no es posible conocer los datos originales (Signaturit Group, 2024).

La cabecera de cada bloque registrado no solo incluye el hash propio del bloque, sino que también contiene el hash del bloque anterior, lo cual vincula los distintos bloques entre sí y da lugar a la cadena. El primer bloque (*root block* o *genesis block*, en inglés) es el único que no cuenta con este tercer elemento (Gaynor et al., 2020). Este mecanismo constituye el segundo elemento que vela por la inalterabilidad de los datos registrados. Esto se debe a que, si la información contenida en un bloque es modificada, su hash cambiará, lo que ocasionará que el bloque posterior y todos los subsiguientes devengan inválidos al no contener el hash válido del bloque anterior. Modificar los datos contenidos en un bloque de la cadena implica comprometer la cadena en su totalidad. Por ello, una vez los bloques se añaden a la cadena, devienen permanentes.

Un ataque que manipule la información de un bloque solo tendría éxito si posteriormente se modificasen los hashes de todos los bloques subsiguientes, restableciendo así la validez de la cadena. Esto supondría un considerable esfuerzo y requeriría tiempo, durante el cual los distintos participantes de la red podrían detectar la irregularidad y, por ende, la manipulación.

No obstante, en la actualidad, existen potentes sistemas informáticos capaces de recalcular los hashes de los bloques subsiguientes en un corto periodo de tiempo. Por ello, para potenciar la seguridad de la tecnología blockchain y la inmutabilidad de los datos registrados, se incorpora un sistema denominado ‘Prueba de Trabajo’ (*Proof of Work* o *PoW*, en inglés).

La PoW es una solicitud de cálculos adicionales, a menudo en forma de resolver un problema computacionalmente desafiante, para crear nuevos bloques (Franzoni et al., 2017). Un ejemplo típico de rompecabezas consiste en exigir que el hash digest del bloque sea menor que un valor objetivo determinado, lo que los nodos intentarán lograr haciendo pequeños cambios al nonce de la cabecera (Mell et al., 2018). El valor nonce es un número de 32 bits (i.e., su rango va de 0 a 4.294.967.295) que los nodos modifican para obtener distintas combinaciones de datos y hallar la solución del problema matemático planteado, completando así la PoW y creando un nuevo bloque (*¿Qué es nonce en la tecnología blockchain?*, s. f.).

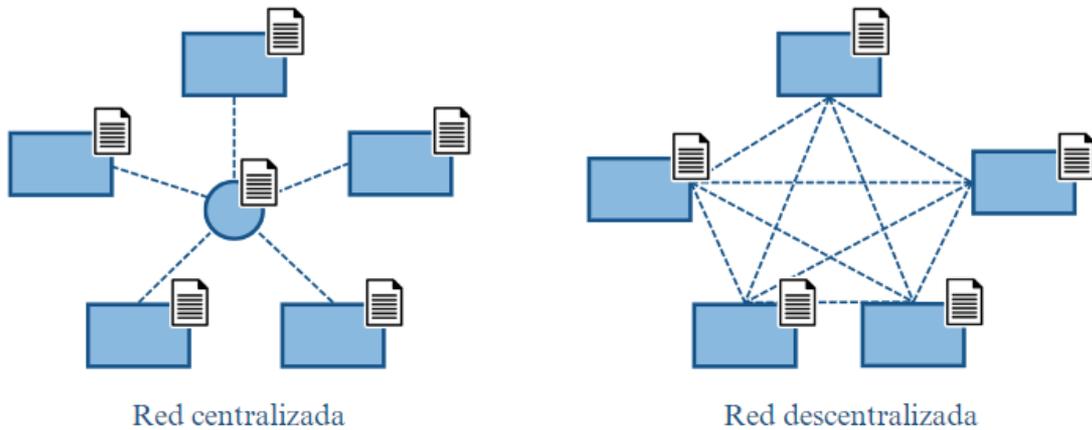
La frecuencia de creación de bloques se controlará ajustando el valor objetivo para incrementar o disminuir la dificultad del problema matemático. Por ejemplo, en Bitcoin y Ethereum, el rompecabezas se ajusta para que el tiempo requerido para completar la PoW y agregar un nuevo bloque a la cadena se mantenga constante, siendo aproximadamente 10 minutos en Bitcoin y 15 segundos en Ethereum (Greenspan, 2017). Este sistema dificulta la manipulación de la cadena, pues incrementa el tiempo y la energía necesaria al requerir el cálculo no solo de los hashes de todos los bloques posteriores, sino también la PoW de los mismos, al mismo tiempo que la cadena sigue creciendo. Este aspecto es clave para mantener la característica seguridad de la tecnología blockchain.

2.2.2.2 *Nodo*

Un nodo es un equipo informático y representa a un participante de la red. Todos ellos deben poseer el mismo protocolo o *software* informático para comunicarse y conectarse entre sí (Bartolomeo y Machin, 2020). El conjunto de todos los nodos conforma una red de interconexión peer-to-peer, lo cual confiere a la tecnología blockchain su carácter descentralizado.

La naturaleza descentralizada del sistema constituye el cuarto elemento para la salvaguarda de la inalterabilidad de los datos registrados en la cadena. Cada nodo adquiere una copia de la cadena de bloques, lo que le otorga la capacidad de verificar la integridad de los datos que contiene (Di Pierro, 2017). La existencia de múltiples copias idénticas, en lugar de una sola copia centralizada, mitiga los riesgos de corrupción inherentes a los modelos centralizados. Este atributo representa una de las innovaciones fundamentales que la tecnología de cadena de bloques aporta en contraposición a los sistemas convencionales de bases de datos centralizados (Rodeck, 2023).

Gráfico 4: Sistemas de registro de datos



Fuente: Elaboración propia

2.2.2.3 *Consenso*

El consenso es una pieza esencial del sistema blockchain, ya que cada nuevo bloque creado debe ser validado por la red. Cuando un nodo genera un bloque, este se envía a los demás nodos de la red, los cuales lo revisarán y lo añaden a su cadena de bloques una vez verificada su corrección (Retamal et al., 2017). La verificación consiste en comprobar el cumplimiento de las normas de la blockchain (por ejemplo, que el nuevo bloque resuelve el problema matemático planteado en la PoW), la firma de la transacción y la inexistencia de conflictos con los bloques registrados previamente (Mell et al., 2018). Este mecanismo constituye el quinto factor en pro de la inalterabilidad de la cadena, ya que introduce la dificultad de necesitar controlar más de la mitad de los nodos de la red para efectuar la manipulación. Este modo de operar suprime la necesidad de recurrir a un tercer agente externo de confianza.

Como miembro de la red blockchain, todo nodo posee la capacidad de incluir datos en un nuevo bloque. Sin embargo, no se encuentran necesariamente obligados a llevar a cabo el proceso de creación de dicho bloque por sí mismos, que implica generar el hash y realizar la PoW. Los denominados ‘nodos mineros’, además de participar en la validación

de nuevos bloques junto con el resto de los nodos de la red, asumen la responsabilidad de generar nuevos bloques en la cadena mediante la realización de cálculos complejos destinados a resolver problemas matemáticos (Utimaco, s.f.). Requieren distintos recursos como un hardware especializado y el consumo de un mayor nivel de energía (Calvez et al., 2021), lo que ha llevado a que la mayor parte de la minería se localice en áreas donde la electricidad es más económica (Greenspan, 2017). A cambio, el nodo que descubre el bloque tiene derecho a recibir una recompensa económica o comisión de la transacción (Retamal et al., 2017).

Cuando se registra una transacción que contiene errores, en lugar de modificar la transacción original, se debe añadir una transacción correctiva que revierta el fallo, manteniendo visibles todas las transacciones (Ayavaca et al., 2022).

Por tanto, la tecnología blockchain se define como un sistema descentralizado basado en una red peer-to-peer de nodos interconectados a través de un protocolo común. Los datos se almacenan en bloques vinculados criptográficamente, cuya integridad es asegurada por el consenso entre los nodos participantes de la red que verifican y validan continuamente la información. El sistema criptográfico, la PoW, el carácter descentralizado de la red y el consenso requerido garantizan la inalterabilidad y la seguridad de la cadena de datos, potenciando así la confianza de los nodos de la red.

2.2.3 Categorías de blockchain

Las blockchain pueden ser de carácter público (*public/open/permissionless*, en inglés), privado (*private/permissioned*, en inglés) o híbrido, en función de si el acceso está abierto a cualquiera o restringido.

En las cadenas de bloques públicas, cualquiera puede unirse como nodo de la red (Beller y Hejderup, 2019) siempre que disponga de un equipo informático con el protocolo relevante, pudiendo acceder a la cadena de datos, registrar nueva información y auditar tanto los bloques existentes como los nuevos que se añadan. No se requiere autorización. Este nivel de acceso contribuye a dificultar la manipulación de la cadena.

Los nodos de una blockchain pública son pseudoanónimos, ya que emplean un seudónimo sin tener que revelar su auténtica identidad (Wang y Wegrzyn, 2021), lo que implica la ausencia de una relación de confianza directa entre ellos. No obstante, la seguridad e integridad de la red se asegura mediante el empleo del sistema criptográfico y de inmutabilidad de los datos, que preserva la confianza de los nodos en la red. De hecho, las cadenas de datos públicas tienden a ofrecer un nivel de seguridad superior al de las privadas, dado que cuentan con un mayor número de nodos encargados de auditar y verificar los datos. La otra cara de la moneda será el mayor tiempo de procesamiento de las transacciones que ello implicará.

En contraste, las cadenas de bloques privadas están concebidas para su implementación en grupos privados. En este contexto, un administrador, que podrá ser una autoridad o un grupo (dará lugar a una ‘blockchain de consorcio’), controla el acceso a la red, selecciona a los nodos participantes y define sus derechos (Beller y Hejderup, 2019). De este modo, se requiere la confianza de los nodos en la entidad administradora.

Es importante destacar que el término “privado” no necesariamente implica que la información sea inaccesible para los usuarios que no sean nodos, sino que hace referencia al acceso e interacción con la red. Podrán existir blockchain privadas cuyo acceso y participación esté limitado, pero su información pueda ser consultada por usuarios autorizados (Calvez et al., 2021).

Los nodos tienen la obligación de identificarse (Wang y Wegrzyn, 2021), lo que facilita el conocimiento mutuo entre ellos. Esta categoría de blockchain se asemeja a un sistema interno de registro de datos, con la diferencia de que se encuentra distribuido entre los diversos nodos participantes para incrementar la seguridad (Rodeck, 2023). A diferencia de las cadenas de bloques públicas, en principio, contarán con un número menor de nodos dedicados a la verificación de los datos en detrimento de la seguridad del sistema. Sin embargo, ello favorecerá la eficiencia en la validación de nuevos bloques.

En todo caso, sea la blockchain pública, privada o híbrida, no existe una entidad central que supervise y valide los procesos, puesto que se trata de una red descentralizada.

2.2.4 Retos de la tecnología blockchain

En el siguiente apartado, se abordarán los retos que la tecnología blockchain enfrenta en su aplicación práctica. A pesar de su elevado potencial, es importante reconocer que esta tecnología no es perfecta e infalible, sino que plantea ciertos retos en materia de ciberseguridad, inmutabilidad de la cadena, coste de implementación, desarrollo de un marco legal para su implementación y consumo de recursos.

En primer lugar, la tecnología blockchain no está exenta de desafíos en lo que respecta a la ciberseguridad. Muchas de las cadenas de bloque son código abierto, lo que significa que el acceso al código fuente del software está disponible para todos los usuarios (*¿Qué Es el Código Abierto? - Explicación del Código Abierto - AWS*, s. f.), y también de software libre, otorgando a los usuarios la libertad “(...) de ejecutar, copiar distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software” (*UCM-Oficina de Software Libre*, s. f.). Esta accesibilidad permite a los ciberdelincuentes estudiar y explotar sus vulnerabilidades, lo que resulta especialmente preocupante para las blockchain menos maduras, que son más susceptibles a estos ataques (Del Campillo, 2021).

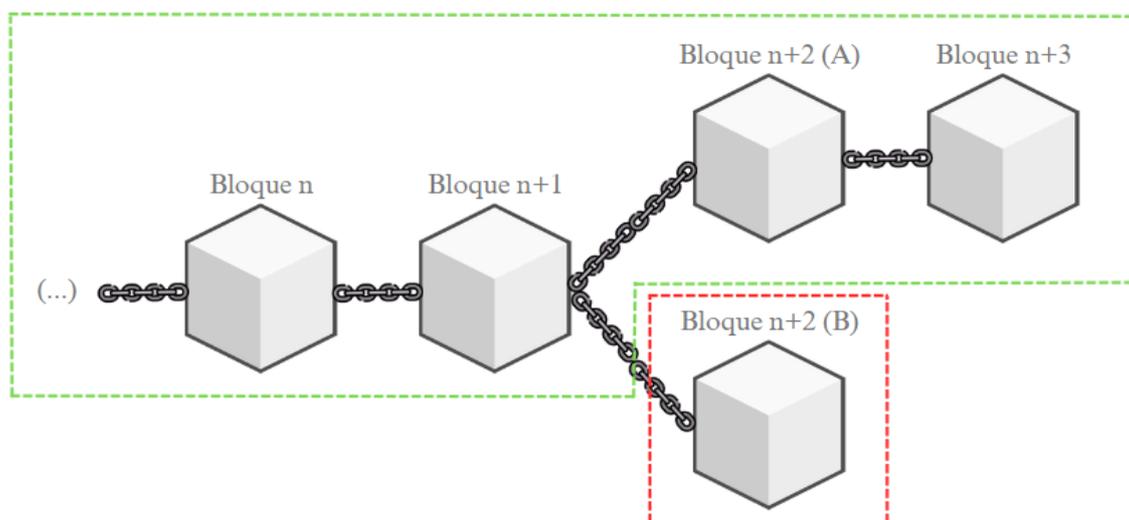
Además, la ingeniería social representa una amenaza inevitable. Esta práctica, cada vez más sofisticada, implica engañar a los usuarios para obtener información confidencial o acceso a los sistemas. Por lo tanto, es esencial que cualquier individuo interesado en esta tecnología se mantenga informado y actualizado, se eduque sobre los riesgos y actúe siempre con cautela y prudencia (Del Campillo, 2021).

En segundo lugar, a pesar de que la tecnología blockchain se caracteriza por la fuerte inmutabilidad de la información registrada en ella, surgen ciertos problemas que pueden comprometer esta característica.

En la blockchain, es posible que diferentes nodos publiquen simultáneamente varios bloques que contienen datos distintos, lo que da lugar a diferentes versiones de la blockchain. Los bloques más recientemente publicados, conocidos en inglés como *tail blocks*, entran en conflicto. Las blockchain públicas son más susceptibles a estos conflictos, ya que cuentan con un mayor número de nodos compitiendo por crear y publicar nuevos bloques.

La divergencia de las cadenas de bloques es resuelta automáticamente. La solución consiste en esperar a la publicación del siguiente bloque válido y considerar oficial la cadena que contenga dicho bloque, es decir, la que sea más larga (Mell et al., 2018). El bloque en conflicto de la cadena más corta, denominado “bloque huérfano” (Segura, 2023b), deviene inválido, y la información contenida en él se devuelve a la Memoria de Transacciones Pendientes (*Memory pool* o *Mempool*, en inglés), donde residen todas las transacciones pendientes de ser registradas en la cadena (Beller y Hejderup, 2019). En este sentido, los tail blocks carecen de un fuerte grado de inmutabilidad.

Gráfico 5: Cadenas de bloques en conflicto



Fuente: Elaboración propia

Debido al mecanismo de adoptar la blockchain de mayor longitud como la verdadera, las blockchain públicas pueden ser vulnerables a un tipo de ataque conocido como “ataque del 51%” o “ataque mayoritario”. Este ataque consiste en que el usuario atacante reúne suficientes recursos como para superar la tasa de creación de bloques del resto de la red blockchain (Merchant, 2022), es decir, más del 51% de los recursos aplicados a la producción de nuevos bloques (i.e., equipos informáticos y electricidad). De esta forma, el atacante podría modificar transacciones previamente confirmadas.

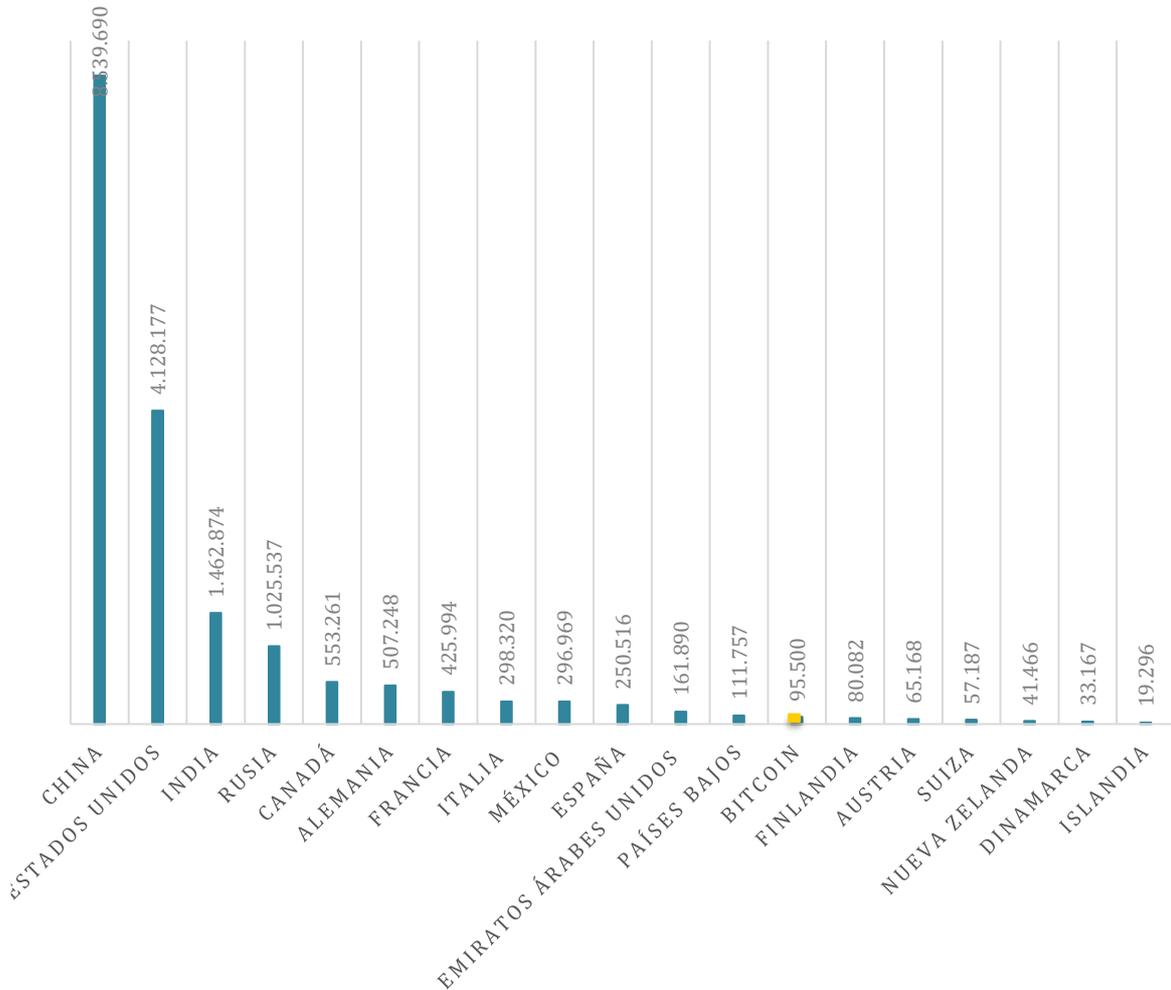
En las blockchain abiertas, la dificultad de este ataque reside en su elevado coste, que aumenta cuanto más atrás en la blockchain se desee realizar el cambio. Aunque dependerá del tamaño de la blockchain, la prohibitiva cuantía de recursos necesarios para ejecutar este ataque hace que solo sea viable para actores a nivel estatal, como gobiernos de cualquier país de medio tamaño (Greenspan, 2017). En las blockchain privadas, este tipo de ataque es aún menos probable, ya que la entidad o consorcio que ostenta el control de la red decide qué nodos tienen la capacidad de crear nuevos bloques.

En tercer lugar, los elevados costos asociados con la migración de los sistemas informáticos actuales a una infraestructura basada en esta tecnología constituyen un obstáculo significativo para la implementación de la blockchain (Krause et al.,2017). La transición hacia una nueva tecnología no solo requiere una importante inversión económica, sino también la modificación de la forma de operar de la compañía, lo que implica tiempo y capacitación.

La elaboración de un marco legal y regulatorio para implementar la tecnología blockchain representa un reto adicional, pues puede implicar grandes cambios en los roles y responsabilidades de los stakeholders de las compañías (Krause et al.,2017).

En quinto lugar, uno de los desafíos que suscita mayor preocupación es el elevado consumo de recursos. La PoW se presenta como una estrategia efectiva para preservar la integridad de la cadena de datos. Sin embargo, demanda el empleo de significativas cantidades de recursos energéticos y eléctricos en la resolución de los rompecabezas matemáticos. Para ilustrar este punto, solo la actividad minera de Bitcoin consume una cantidad de electricidad que supera la de muchos países en un año (como se puede observar en el gráfico 6) y representa aproximadamente el 0,65% del consumo mundial de electricidad (Mena, 2021). En este sentido, se teme que el remedio sea peor que el problema.

Gráfico 6: Electricidad (medida en GWh) consumida en el año 2022



Fuente: Elaboración propia basada en Consumo de Electricidad 2022, s.f., y Villullas, 2023.

Este problema podría superarse mediante la adopción generalizada de fuentes de energía libres de emisiones. Además, para lograr un impacto nulo será necesario averiguar cómo abastecerse, construir y deshacerse de los propios aparatos electrónicos de una manera que no implique materiales tóxicos y fuentes de energía contaminantes (Sulkowski, 2019: 10).

Otra alternativa sería utilizar otro método para alcanzar el consenso, sustituyendo la criptografía PoW por otros métodos criptográficos como el mecanismo ‘Prueba de Participación’ (*Proof of Stake* o *PoS*, en inglés). Este sistema implica la selección

aleatoria, aunque basada en ciertos criterios, de determinados nodos, conocidos como validadores, que tendrán la responsabilidad de crear nuevos bloques o validar transacciones (Segura, 2023a). Uno de los criterios principales es el porcentaje de participación (*stake*, en inglés) que posee el nodo en la red (Chaudhry y Yousaf, 2018). La premisa subyacente es que cuanto mayor sea la participación de un nodo, mayor será su interés por que el sistema tenga éxito y menor será la probabilidad de que busque socavarlo (Mell et al., 2018). A través de este método de consenso se elimina la necesidad de incurrir en grandes esfuerzos computacionales, lo que resulta en ahorros significativos de recursos como el tiempo, la electricidad o la capacidad de procesamiento.

3 Aplicaciones de la tecnología blockchain en beneficio de la transparencia en materia de sostenibilidad

Confluyen dos problemáticas fundamentales. Por un lado, existe una creciente demanda de transparencia y reporte de datos ESG en el ámbito empresarial, tanto a nivel normativo como por parte de los stakeholders. Por otro lado, las empresas muestran un interés cada vez mayor en la adopción de la tecnología blockchain para mantenerse actualizadas y no quedarse rezagadas en un entorno competitivo en constante evolución (Mell et al., 2018).

En este apartado, se abordan ambas inquietudes de manera conjunta y se presenta la tecnología blockchain como una potencial solución ante los distintos desafíos que la transparencia en el ámbito corporativo plantea. A continuación, se analizarán las aplicaciones de la tecnología blockchain en beneficio de la transparencia empresarial en el ámbito de la sostenibilidad, tales como la optimización de la cadena de suministro, la medición de la huella de carbono o el seguimiento y reporte de datos ESG.

La optimización de la cadena de suministro hacia la sostenibilidad constituye un aspecto crucial del ámbito empresarial, con repercusiones beneficiosas tanto para la propia empresa y sus stakeholders, como para la política pública en general (Sulkowski, 2018). Es por ello por lo que las empresas que adoptan prácticas sostenibles en sus cadenas de suministro contribuyen a objetivos de interés público, lo que refuerza su papel como agentes de cambio en la sociedad.

En este contexto, la tecnología blockchain emerge como una herramienta prometedora para eliminar la opacidad de las cadenas de suministro. Tiene diversas aplicaciones, que van desde la verificación de origen de los productos hasta la garantía de la utilización de prácticas empresariales responsables en términos medioambientales y laborales.

Hoy en día, la información se somete a auditorías realizadas por terceros de confianza y se almacena en una base de datos centralizada o en documentos físicos, lo que genera problemas en términos de integridad, coste, ineficiencia, posibilidad de errores humanos y susceptibilidad a manipulación (Bartolomeo y Machin, 2020). Además, la

comercialización de bienes con etiquetas de origen fraudulentas representa un desafío significativo para la integridad del mercado y confianza de los consumidores.

Mediante el uso de blockchain, es posible verificar el origen geográfico de los bienes comercializados y rastrear su trayectoria desde el proveedor hasta el consumidor final. Esta tecnología facilita la monitorización de la cadena de suministro. La inmutabilidad de las cadenas de bloques, respaldada por la criptografía utilizada, junto con la naturaleza distribuida y descentralizada del registro, y el sistema de consenso que conlleva una auditoría permanente, fortalece la confianza de los stakeholders en la veracidad de los datos reflejados en la cadena de bloques. La mejora en la transparencia y trazabilidad ofrece beneficios en términos de seguridad del producto, ética empresarial y confianza del consumidor.

Otra de las aplicaciones de la tecnología blockchain en la gestión de la cadena de suministro consiste en garantizar que las compañías han adoptado prácticas medioambientales y laborales éticas, certificando que los métodos de producción empleados no han causado daños al medio ambiente y la mano de obra (Sulkowski, 2018).

Por otro lado, la medición de la huella de carbono de las compañías es compleja (Arora, 2019), pero constituye un paso fundamental para comprender el impacto ambiental de la actividad empresarial. La tecnología blockchain ofrece la posibilidad de registrar de forma precisa, inmutable y transparente las diferentes emisiones de carbono que se desencadenan a lo largo de la cadena de producción. Esta práctica no solo proporciona a los stakeholders información adicional, sino que también pretende ayudar a las empresas a identificar áreas de mejora y trabajar para reducir su impacto medioambiental.

La tecnología blockchain ofrece una mejora significativa en el seguimiento y reporte de datos ESG. Sin embargo, su utilidad va más allá de una mera actividad de reporte, extendiéndose a un ejercicio completo de transparencia. Esto se traduce en la visibilidad instantánea y universal de la información registrada, a la que los stakeholders tendrían acceso. Como resultado, se reducen las asimetrías de información, permitiendo un acceso a datos veraces y fiables.

4 Conclusiones

Resulta conveniente recordar la pregunta de investigación y los objetivos planteados al inicio del trabajo. La pregunta de investigación reza: ¿Es la tecnología blockchain capaz de mejorar la transparencia de las empresas en materia de sostenibilidad? Se concreta en cinco objetivos:

1. Estudiar el marco normativo europeo vigente en materia de sostenibilidad, poniendo especial énfasis en la transparencia y divulgación de información sostenible.
2. Fijar los principales retos que enfrentan hoy en día las empresas en su esfuerzo por ser más transparentes.
3. Determinar los componentes clave de la tecnología blockchain con el fin de comprender su estructura y atributos.
4. Identificar los desafíos y limitaciones en la implementación de la tecnología blockchain.
5. Examinar el impacto de la tecnología blockchain en la mejora de la transparencia empresarial en materia de sostenibilidad.

En lo que respecta al primer objetivo:

- El movimiento global hacia la sostenibilidad, liderado por la ONU, ha dado lugar a un enfoque transversal y holístico del desarrollo sostenible. Aunque el concepto de sostenibilidad aún carece de una definición universal, la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) representan un compromiso sin precedentes para abordar los desafíos económicos, sociales y medioambientales a nivel global.
- La sostenibilidad ha dejado de ser un concepto voluntario para convertirse en una prioridad normativa, especialmente con la introducción del Plan de Acción sobre Finanzas Sostenibles de la Comisión Europea en 2018. Esta evolución marca un hito en la adopción de políticas que mejoran el impacto medioambiental y social de las empresas, así como en la calidad de la información extra-financiera divulgada.

- La transparencia se erige como un pilar fundamental en la estrategia de sostenibilidad, especialmente en el ámbito financiero. El Plan de Acción sobre Finanzas Sostenibles de la Comisión Europea se estructura en torno a tres objetivos principales: redirigir los flujos de capital privado hacia inversiones sostenibles, promover la transparencia e integrar la sostenibilidad en la gestión del riesgo. Este enfoque busca no solo respaldar la transición hacia una economía sostenible, sino también garantizar la confianza y la credibilidad en la divulgación de información sostenible.
- La normativa europea derivada del Plan de Acción de Finanzas Sostenibles enfatiza la importancia de la transparencia como un pilar fundamental para promover la responsabilidad empresarial y generar confianza en el mercado financiero.

En relación con el segundo objetivo:

- A pesar de los esfuerzos regulatorios, la implementación efectiva de sistemas de divulgación de información no financiera enfrenta desafíos significativos, lo que sugiere la necesidad de abordar problemas como la trazabilidad de datos en cadenas de suministro complejas y la gestión adecuada de grandes volúmenes de información.
- La lucha contra el *greenwashing* emerge como un desafío importante en el camino hacia una mayor transparencia, destacando la necesidad de medidas efectivas para garantizar la veracidad de la información divulgada y proteger la integridad del sistema financiero sostenible.

En cuanto al tercer objetivo:

- La tecnología blockchain, inicialmente concebida para respaldar Bitcoin, ha evolucionado más allá de las criptomonedas y ahora se reconoce por su potencial disruptivo en el ámbito empresarial, ofreciendo mejoras sustanciales en transparencia, auditabilidad, confianza y eficiencia.
- La tecnología blockchain se define como un sistema descentralizado basado en una red peer-to-peer de nodos interconectados a través de un protocolo común. Los datos se almacenan en bloques vinculados criptográficamente, cuya

integridad es asegurada por el consenso entre los nodos participantes de la red que verifican y validan continuamente la información.

- La seguridad y la inmutabilidad de la cadena de bloques se aseguran mediante un conjunto de características fundamentales, como la criptografía, la PoW, el carácter descentralizado de la red y el consenso requerido.
- A pesar del gran potencial de la tecnología blockchain, su implementación práctica enfrenta desafíos significativos, como los costos asociados a la migración de sistemas existentes, la necesidad de un marco legal y regulatorio adecuado, y la preocupación por el alto consumo de recursos energéticos.
- Aunque la inalterabilidad de la cadena de bloques no es plena y perfecta, los mecanismos mencionados garantizan un fuerte grado de inmutabilidad que no se podría conseguir con los sistemas centralizados de registro de datos actuales.

En lo que concierne al quinto y último objetivo:

- La tecnología blockchain se presenta como una solución prometedora e innovadora para abordar la creciente demanda de transparencia y reporte de datos ESG en el ámbito empresarial.
- La capacidad para mejorar la trazabilidad en las cadenas de suministro, impulsar la medición de la huella de carbono y potenciar el reporte de datos ESG constituyen diferentes opciones en las que las empresas podrían aplicar el sistema de cadena de bloques para impulsar su transparencia.
- La adopción de prácticas sostenibles en las cadenas de suministro mediante la tecnología blockchain no solo beneficia a las empresas y sus stakeholders, sino que también contribuye a objetivos de interés público, fortaleciendo así su papel como agentes de cambio en la sociedad.
- La capacidad de la tecnología blockchain para mejorar la transparencia ofrece beneficios significativos en términos de seguridad del producto, ética empresarial y confianza del consumidor, al tiempo que reduce las asimetrías de información y promueve el acceso a datos veraces y fiables.

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado

ADVERTENCIA: Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea.

Por la presente, yo, María Bravo Barnés, estudiante de Derecho y Administración y Dirección de Empresas de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "Tecnología blockchain como catalizador de la transparencia de las compañías en materia de sostenibilidad", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Estudios multidisciplinares:** Para comprender perspectivas de otras comunidades sobre temas de naturaleza multidisciplinar.
2. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
3. **Sintetizador y divulgador de libros complicados:** Para resumir y comprender literatura compleja.
4. **Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
5. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 4 de junio de 2024



Firma: _____

5 Bibliografía

Antuña, C. (2023). Conceptos básicos e iniciativas mundiales y europeas relacionadas con la sostenibilidad [1-35]. Afi.

Arora, A., Dong, Z., Rojas-Cessa, R. y Shakhbulatov, D. (2019). Blockchain implementation for analysis of carbon footprint across food supply chain. *IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*, 546-551. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8946217?casa_token=wnJ_PlnPN2UAAA:UYLgod1Xv1umWLVDSlTqtrEb8VKOwxoFGB0c0NFwQvHS2GjR1X-04NeAshW9oVSijeSMw4WRMQ

Asamblea General de las Naciones Unidas. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común*. https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.mdsocialesa2030.gob.es/agenda2030/documentos/aprobacion-agenda2030.pdf>

Ayavaca-Vallejo, L., Chiluisa-Chiluisa, M., Guaña-Moya, J., Marcillo, F., Moya-Carrera, B., y Roa, H. N. (2022). Tecnología Blockchain, qué es y cómo funciona. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*. 101-114. https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3444/1/Tecnolog%c3%ada_Blockchain%2c_qu%c3%a9_es_.pdf

Ayuso, A. (2017). Participación y rendición de cuentas en la localización de la Agenda 2030. *Cidob*. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/75-86_ANNA%20AYUSO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/75-86_ANNA%20AYUSO%20(1).pdf)

Bartolomeo, A. y Machin, G. (2020). Introducción a la tecnología blockchain: su impacto en las Ciencias Económicas.

https://ediunc.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/15304/14.-introduccinalatecnologia.pdf

Beller, M., y Hejderup, J. (2019). Blockchain-based software engineering. *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Results (ICSE-NIER)*, 53-56.
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8805733>

Calvez, P., Naït-Abdesselam, F., y Solat, S. (2021). Permissioned vs. Permissionless Blockchain: How and Why There Is Only One Right Choice. *Journal of Software*, 16(3), 95-106. <https://www.jssoftware.us/vol16/437-TC1032.pdf>

Camarán, M. L., Méndez, L. A. B., & Rueda, M. P. (2019). La Responsabilidad social empresarial y los objetivos del desarrollo sostenible (ODS). *Revista Científica Teorías, Enfoques y Aplicaciones en las Ciencias Sociales*, 11(24), 41-52.
[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-LaResponsabilidadSocialEmpresarialYLosObjetivosDel-7013907%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-LaResponsabilidadSocialEmpresarialYLosObjetivosDel-7013907%20(1).pdf)

Chaudhry, N., y Yousaf, M. M. (2018). Consensus algorithms in blockchain: Comparative analysis, challenges and opportunities. *2018 12th international conference on open source systems and technologies (ICOSST)*, 54-63.
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8632190>

Consumo de electricidad 2022. (s. f).
Datosmacro.com. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo?anio=2022>

Cuatrotercios. (2023). *Análisis de Doble Materialidad: la clave de la CSRD.* <https://somoscuatrotercios.com/2023/12/doble-materialidad/>

De Filippi, P., Mannan, M., & Reijers, W. (2020). Blockchain as a confidence machine: The problem of trust & challenges of governance. *Technology in Society*, 62. [Blockchain-as-a-confidence-machine--The-problem-of-trust-_2020_Technology-in.pdf](https://www.researchgate.net/publication/354444444-Blockchain-as-a-confidence-machine--The-problem-of-trust-_2020_Technology-in.pdf)

De Freitas Netto, S. V., Ribeiro, A. R. B., Soares, G. R. D. L., y Sobral, M. F. F. (2020). Concepts and forms of greenwashing: A systematic review. *Environmental Sciences Europe*, 32, 1-12. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/s12302-020-0300-3%20(1).pdf

Del Campillo, S. G. (2021). Ciberseguridad y Blockchain. *Revista Blockchain e Inteligencia Artificial*, (3).
<https://revistas.bibdigital.uccor.edu.ar/index.php/rbia/article/view/5254/6502>

Delmas, M. A., & Burbano, V. C. (2011). The drivers of greenwashing. *California management review*, 54(1), 64-87.
<https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.1525/cmr.2011.54.1.64>

Di Pierro, M. (2017). What is the Blockchain? *Computing in Science & Engineering*, 19(5), 92-95. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8024092>

EQA. (2023). *Validación de taxonomía y SFDR*. <https://eqa.es/finanzas-sostenibles/validacion-taxonomia-sfdr#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20Taxonom%C3%ADa%20UE,criterios%20basados%20en%20la%20ciencia>.

España. Ley 11/2018, de 28 de diciembre, por la que se modifica el Código de Comercio, el texto refundido de la Ley de Sociedades de Capital aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2010, de 2 de julio, y la Ley 22/2015, de 20 de julio, de Auditoría de Cuentas, en materia de información no financiera y diversidad. Boletín Oficial del Estado, 29 de diciembre de 2018, núm. 314, pp. 129833 a 129854.

Franzoni, A.L., Incera, J., Zozaya, C. (2017). Blockchain: Un Tutorial. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Incera-2/publication/334471771_Blockchain_un_tutorial/links/5e41f2b6a6fdccd9659a1c3e/Blockchain-un-tutorial.pdf

Gaynor, M., Parker, J., Patel, A., Tang, C, y Tuttle-Newhall, J. (2020). Adoption of blockchain in health care. *Journal of medical Internet research*, 22(9). <https://www.jmir.org/2020/9/e17423/>

Gil, C. G. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, (140), 107-118. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-ObjetivosDeDesarrolloSostenibleODS-6312616.pdf>

Greenspan, G. (2017). The Blockchain Immutability Myth. *CoinDesk*. <https://www.coindesk.com/blockchain-immutability-myth/>

Krause, S. K., Natarajan, H., y Gradstein, H. L. (2017). *Distributed ledger technology (DLT) and blockchain*. World Bank Group. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/177911513714062215/pdf/122140-WP-PUBLIC-Distributed-Ledger-Technology-and-Blockchain-Fintech-Notes.pdf>

Mell, P., Roby, N., Scarfone, K., y Yaga, D. (2018). Blockchain technology overview. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202>

Mena, M. (2021). Bitcoin consume más electricidad que países enteros. *Statista Daily Data*. <https://es.statista.com/grafico/18630/consumo-de-electricidad-anual-de-bitcoin/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20Bitcoin%20Electricity%20Consumption,del%20consumo%20mundial%20de%20electricidad.>

Merchant, M. (2022). ¿Qué es un ataque del 51% y cómo detectarlo? *Cointelegraph*. <https://es.cointelegraph.com/news/what-is-a-51-attack-and-how-to-detect-it>

Naciones Unidas (ONU), *Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)*, 12 Diciembre 2015, <https://www.refworld.org/es/leg/multilateraltreaty/un/2015/es/134497>

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. <https://assets.pubpub.org/d8wct41f/31611263538139.pdf>

OCDE (2016), *Principios de Gobierno Corporativo de la OCDE y del G20*, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264259171-es>

OECD (2024), *Principios de Gobierno Corporativo de la OCDE y del G20 2023*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/fb38c737-es>.

Pardo, I. L. (2015). Sobre el desarrollo sostenible y la sostenibilidad: conceptualización y crítica. *Barataria. Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales*, (20), 111-128. <https://www.redalyc.org/pdf/3221/322142550007.pdf>

Preukschat, A. (2017). *Blockchain: la revolución industrial de internet*. Gestión 2000. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Blockchain_La_revolucion_industrial_de_i.pdf

¿Qué es el código abierto? - Explicación del código abierto - AWS. (s. f.). Amazon Web Services, Inc. <https://aws.amazon.com/es/what-is/open-source/>

¿Qué es nonce en la tecnología blockchain? (s. f.). CoinEx. <https://www.coinex.com/es/blog/2710-what-is-nonce-in-blockchain-technology>

Reglamento (UE) 2019/2088 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2019, sobre la divulgación de información relativa a la sostenibilidad en el sector de los servicios financieros. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 317, de 9 de diciembre de 2019. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81907>

Retamal, C. D., Roig, J. B., y Tapia, J. L. M. (2017). La blockchain: fundamentos, aplicaciones y relación con otras tecnologías disruptivas. *Economía industrial*, 405, 33-40.

<https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/405/DOLADER,%20BEL%20Y%20MU%C3%91OZ.pdf>

Rodeck, D. (2023). Understanding Blockchain Technology. *Forbes Advisor*. <https://www.forbes.com/advisor/investing/cryptocurrency/what-is-blockchain/>

Sakız, B., y Gencer, A. H. (2019). Blockchain technology and its impact on the global economy. *International Conference on Eurasian Economies*, 10, p. 99-100. <https://avekon.org/papers/2258.pdf>

Salgado, L. (2024). CSRD: Todo lo que necesitas saber sobre la Directiva. APlanet. https://aplanet.org/es/recursos/noticias-informes-de-sostenibilidad-la-ue-llega-a-un-acuerdo-sobre-el-csrd/#%C2%BFQue_es_la_directiva_CSRD

Segura, J. (2023a). ¿Qué es Prueba de participación / Proof of Stake (PoS)? *Bit2me Academy*. <https://academy.bit2me.com/que-es-proof-of-stake-pos/>

Segura, J. (2023b). ¿Qué es un bloque huérfano? *Bit2Me Academy*. <https://academy.bit2me.com/que-es-un-bloque-huerfano/>

Signaturit Group. (12 de febrero de 2024). *¿Qué es un hash y cómo funciona?* Recuperado el 3 de junio de 2024 de <https://www.signaturit.com/es/blog/que-es-un-hash/>

Sulkowski, A. J. (2018). Blockchain, business supply chains, sustainability, and law: The future of governance, legal frameworks, and lawyers. *Del. J. Corp. L.*, 43, 303. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/SSRN-id3205452%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/SSRN-id3205452%20(1).pdf)

Sulkowski, A. J. (2019). Blockchain, law, and business supply chains: The need for governance and legal frameworks to achieve sustainability. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/SSRN-id3205452%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/SSRN-id3205452%20(1).pdf)

UCM-Oficina de Software Libre. (s. f.). <https://ucm.es/oficina-de-software-libre/software-libre#:~:text=%C2%ABSoftware%20libre%C2%BB%20es%20el%20software,modificar%20y%20mejorar%20el%20software.>

Unión Europea. Dictamen del Comité Económico y Social Europeo sobre la propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la divulgación de información relativa a las inversiones sostenibles y los riesgos de sostenibilidad y por el que se modifica la Directiva (UE) 2016/2341. Diario Oficial de la Unión Europea C 62/97, de 15 de febrero de 2019.

Unión Europea. Directiva (UE) 2014/95 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014, por la que se modifican la Directiva 2013/34/UE en lo que respecta a la divulgación de información no financiera e información sobre diversidad por parte de

determinadas grandes empresas y determinados grupos. Diario Oficial de la Unión Europea L 330/1, de 15 de noviembre de 2014.

Unión Europea. Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de diciembre de 2022, por la que se modifican el Reglamento (UE) n.o 537/2014, la Directiva 2004/109/CE, la Directiva 2006/43/CE y la Directiva 2013/34/UE, por lo que respecta a la presentación de información sobre sostenibilidad por parte de las empresas. Diario Oficial de la Unión Europea L 322/15, de 16 de diciembre de 2022.

Utimaco. (s.f.). *¿Cuáles son los tipos de nodos en Blockchain?* Recuperado el 3 de junio de 2024 de <https://utimaco.com/es/servicio/base-de-conocimientos/tecnologia-blockchain/cuales-son-los-tipos-de-nodos-en-blockchain#:~:text=Estos%20nodos%20son%20capaces%20de,la%20base%20de%20la%20red.>

Villullas, C. (2023) Bitcoin representa solo el 0,54% del consumo energético mundial, según el CCAF. *Bit2Me News / Noticias Cripto, Blockchain, Ethereum*. <https://news.bit2me.com/bitcoin-representa-solo-el-054-del-consumo-energetico-mundial/#:~:text=Sobre%20los%20datos%20del%20consumo,y%20que%20es%20mucho%20menor>

Wang, E. y Wegrzyn, K. E. (2021). Types of blockchain: Public, private, or something in between. *Foley & Lardner*. <https://www.foley.com/insights/publications/2021/08/types-of-blockchain-public-private-between/>