

PAPELES DEL OBSERVATORIO Nº 30

La tecnología *blockchain* en Iberoamérica: del potencial tecnológico a los desafíos de su adopción



LA TECNOLOGÍA *BLOCKCHAIN* EN IBEROAMÉRICA: DEL POTENCIAL TECNOLÓGICO A LOS DESAFÍOS DE SU ADOPCIÓN

Autoridades de la OEI

Secretario General

Mariano Jabonero

Directora de Educación Superior y Ciencia

Ana Capilla

Director de la Oficina en Argentina

Luis Scasso

Equipo de trabajo del Observatorio CTS

Coordinador

Rodolfo Barrere

Equipo Técnico

Manuel Crespo (Difusión del conocimiento)

Laura Osorio (Indicadores de educación superior)

Laura Trama (Indicadores de capacidades científicas y tecnológicas)

Este informe fue elaborado por María Sol Cinosi para el Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (OCTS) de la Organización de los Estados Iberoamericanos (OEI). Una primera versión de este documento fue entregada el 10/12/25.

Papeles del Observatorio N° 30
Abril de 2026

ISSN: 2415-1785

Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (OCTS)
de la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI)

Dirección: Paraguay 1510 (C1061ADB), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina

Teléfonos: (54-11) 4813-0033 / 4813-0034

Facebook: Observatorio Iberoamericano CTS

Twitter: @ObservatorioCTS

Las imágenes de portada fueron obtenidas de la base de datos Freepik.

El uso de un lenguaje que no discrimine, que no reproduzca estereotipos sexistas y que permita visibilizar todos los géneros es una preocupación de quienes trabajaron en esta publicación. Dado que no hay acuerdo sobre la manera de hacerlo en español, se consideraron dos criterios a fines de hacer un uso más justo y preciso del lenguaje: 1) evitar expresiones discriminatorias; y 2) visibilizar el género cuando la situación comunicativa y el mensaje lo requieren para una comprensión correcta.

Índice

Principales afirmaciones	4
Introducción a la tecnología <i>blockchain</i>	5
1. Primeras aplicaciones y desafíos de la tecnología <i>blockchain</i>	11
2. Campos de aplicación de la tecnología <i>blockchain</i>	14
3. Desafíos que enfrentan los países iberoamericanos a la hora de aplicar la tecnología <i>blockchain</i>	23
Consideraciones finales	29
Bibliografía	30

Principales afirmaciones

- La tecnología *blockchain* constituye una infraestructura de registro descentralizada que permite almacenar y verificar información de manera segura, transparente e inmutable, sin necesidad de intermediarios.
- Si bien su origen se vincula con el ámbito financiero con la creación de Bitcoin, su evolución ha ampliado significativamente sus aplicaciones hacia sectores estratégicos como la educación, la ciencia y la cultura.
- En el campo educativo, la *blockchain* permite garantizar la autenticidad de certificados académicos y avanzar hacia modelos de identidad digital soberana y credenciales verificables, facilitando la movilidad y reduciendo la falsificación de títulos.
- En el ámbito científico, ofrece herramientas para fortalecer la integridad y trazabilidad de los datos, mejorar la gestión de la propiedad intelectual y habilitar nuevos modelos de financiamiento descentralizado (DeSci), promoviendo una ciencia más abierta y transparente.
- En el sector cultural, contribuye a la preservación del patrimonio digital, la gestión más eficiente de los derechos de autor y la creación de mecanismos de participación ciudadana mediante modelos de gobernanza descentralizada.
- La convergencia de *blockchain* con otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el Internet de las cosas, potencia su capacidad para transformar procesos institucionales, económicos y sociales.
- A pesar de su potencial, la adopción de esta tecnología en Iberoamérica enfrenta desafíos significativos, entre los que se destacan las limitaciones de infraestructura digital, la fragmentación de los marcos regulatorios y la falta de estándares interoperables.
- Asimismo, existe un déficit de capacidades institucionales y de talento especializado que dificulta la implementación y escalabilidad de proyectos basados en *blockchain* en la región.
- La escasa articulación entre el sector público, el sector privado y la academia limita el desarrollo de ecosistemas colaborativos capaces de sostener la innovación y generar confianza en torno a esta tecnología.
- Las experiencias internacionales y regionales muestran que la combinación de infraestructura adecuada, marcos regulatorios claros y cooperación institucional resulta clave para el despliegue exitoso de soluciones *blockchain*.
- La tecnología *blockchain* no constituye un fin en sí misma, sino una herramienta cuyo valor depende de su aplicación en función de necesidades concretas, especialmente en contextos donde la confianza, la transparencia y la trazabilidad son fundamentales.
- Su adopción en la región requerirá estrategias coordinadas, inversión en capacidades y una visión compartida que permita aprovechar su potencial para impulsar un desarrollo digital inclusivo y sostenible.

Introducción a la tecnología blockchain

En este informe se presentará una introducción a la tecnología *blockchain*, abordando brevemente sus principios y funcionamiento, su evolución histórica, sus principales campos de aplicación y los desafíos que enfrentan los países iberoamericanos a la hora de considerar su adopción e implementación. El objetivo no radica solamente en describir qué es la tecnología *blockchain*, sino también en destacar por qué su aplicación puede ser relevante en ámbitos estratégicos para la región como la educación, la ciencia y la cultura.

Resguardo de información en registros centralizados

La tecnología *blockchain* puede entenderse, en términos generales, como un sistema para registrar información de forma descentralizada. Ahora bien, a fin de comprender realmente qué significa esto, resulta necesario considerar el contexto histórico y los sucesos que motivaron su desarrollo.

A lo largo de la historia, la tarea de registrar, almacenar y validar información se confió a sistemas "centralizados", gestionados y controlados por entidades como el Estado, los bancos o empresas privadas. Ejemplos de ello son los registros de propiedad, identidad o cuentas bancarias. Si bien estos sistemas fueron esenciales para la organización social y económica, presentan limitaciones inherentes a su estructura: barreras de acceso por motivos económicos, geográficos o políticos; vulnerabilidades técnicas derivadas de la concentración de datos en pocos servidores; y riesgos para la privacidad y la confidencialidad, dado que una única entidad concentra y gestiona la información. En última instancia, su funcionamiento depende de la confianza depositada en esa autoridad central, algo que en la práctica no siempre puede garantizarse.

Frente a estas limitaciones, distintos actores comenzaron a explorar formas alternativas de registrar y gestionar datos, sin intermediarios y con mayores garantías de privacidad, seguridad e integridad. Ese proceso sentó las bases para el desarrollo de tecnologías descentralizadas, que años más tarde darían lugar a la creación de Bitcoin y, con ella, al surgimiento de la tecnología *blockchain*.

El nacimiento de los registros descentralizados

Durante la década de 1980, con el objetivo de mejorar la privacidad y la seguridad de los datos personales, especialmente en el ámbito de los pagos, surgieron distintas iniciativas y desarrollos técnicos que buscaban alternativas a los registros centralizados.

El primer gran intento en esta dirección vino de la mano del criptógrafo David Chaum, quien en 1983 presentó *e-cash*, un sistema que buscaba llevar el dinero al mundo digital, preservando la identidad de los usuarios (Chaum, 1982). Para lograrlo, Chaum recurrió a la criptografía; es decir, a técnicas matemáticas diseñadas para codificar información y asegurar que esta solo pueda ser leída o modificada por quienes cuentan con la autorización correspondiente para ello. La misma preocupación por la privacidad de los datos personales fue retomada por los *cypherpunks*, un grupo de desarrolladores que, a principios de la década de 1990, comenzó a promover el uso de herramientas criptográficas para proteger la privacidad en Internet, resguardar las libertades individuales y reducir la dependencia de intermediarios (Hughes, 1993).

Al mismo tiempo, otros investigadores se enfocaron en un problema distinto: cómo garantizar la integridad de los registros digitales. En 1991, Stuart Haber y W. Scott Stornetta propusieron un sistema que permitía registrar documentos de forma cronológica mediante la utilización de *hashes*; es decir, algoritmos criptográficos que transforman un conjunto de datos en una cadena única de caracteres y que permiten comprobar su autenticidad. Al encadenar estos *hashes* de manera secuencial,

introdujeron un mecanismo de sellado digital que hacía posible certificar la existencia de un documento en una fecha determinada y confirmar que no había sido modificado desde entonces, sin necesidad de recurrir a una autoridad central (Haber & Stornetta, 1991). Un año más tarde, junto con Dave Bayer, Haber y Stornetta perfeccionaron este desarrollo incorporando los denominados “árboles de Merkle”, que permiten agrupar una gran cantidad de documentos en una misma unidad de registro, denominada bloque. Cada bloque quedaba, a través de un *hash*, vinculado criptográficamente al anterior, generando una secuencia segura en la que cualquier intento de modificación de un documento, podía ser fácilmente advertido. Si bien todavía no se trataba de una red descentralizada ni estaba asociado a una moneda digital, este desarrollo sentó las bases de lo que hoy se conoce como *blockchain*: un registro seguro, inmutable y verificable (Bayer, Haber & Stornetta, 1993).

Ahora bien, garantizar la privacidad y la integridad de los registros era solo una parte del desafío. Otro problema radicaba en cómo alcanzar acuerdos en la red sin una autoridad central que validara cada dato como era, en el caso de los sistemas de pago, una transacción. Las bases que sentaron la solución para ello fueron introducidas por Cynthia Dwork y Moni Naor que introdujeron el concepto de “prueba de trabajo” (*proof of work*, PoW), un mecanismo que exigía realizar cierto esfuerzo computacional con el fin de evitar usos indebidos en entornos digitales (Dwork & Naor, 1992). Años más tarde, en 1997, Adam Back desarrolló Hashcash, una implementación práctica de aquella idea destinada a reducir el envío masivo de correos electrónicos no deseados (*spam*), y que con el tiempo sería retomada y adaptada como base del mecanismo de consenso de Bitcoin (Back, 2002).

Paralelamente, surgieron propuestas orientadas a automatizar acuerdos en entornos digitales. En 1996, Nick Szabo describió por primera vez los contratos inteligentes, definidos como acuerdos autoejecutables que se cumplen de manera automática una vez que se verifican determinadas condiciones (Szabo, 1996). En 2005, el mismo Szabo ideó BitGold (Szabo, 2005), un sistema digital que combinaba trabajo computacional y criptografía para generar una forma de dinero escaso y descentralizado, considerado hoy como uno de los antecedentes más directos de las monedas digitales.

Junto a estos avances conceptuales, surgieron diferentes proyectos que buscaban soluciones más prácticas para crear dinero digital. Entre los más destacados se encuentra PayPal, que facilitó por primera vez transferencias de dinero en línea entre particulares (PayPal Inc., 1999). De todas formas, esta innovación seguía funcionando mediante la utilización de una plataforma centralizada. Vistos en perspectiva, estos desarrollos, con sus aciertos y limitaciones, sentaron las bases técnicas y conceptuales que hicieron posible el surgimiento de nuevas formas de registro y de dinero digital.

La crisis financiera global de 2008 y la creación de Bitcoin

En 2008 tuvo lugar una de las crisis económicas más profundas y extendidas a nivel mundial, con impacto en mercados financieros, instituciones bancarias, empresas y gobiernos, que generó una profunda desconfianza en el sistema financiero. Esta crisis dejó al descubierto ciertas vulnerabilidades del sistema financiero tradicional y alimentó el debate acerca de la necesidad de contar con mecanismos más transparentes y resistentes que no dependiesen de intermediarios centralizados.

En respuesta a ese contexto de desconfianza y búsqueda de alternativas, ese mismo año, una persona o grupo de personas, cuya identidad al día de hoy se desconoce, y que se identificó bajo el seudónimo Satoshi Nakamoto, publicó un documento titulado “Bitcoin: un sistema de efectivo electrónico entre pares” (Nakamoto, 2008), en el que presentaba una idea innovadora: una versión de dinero electrónico entre pares, que permitiría que los pagos en línea se enviaran directamente de una parte a la otra, sin hacerlo a través de una institución financiera. El sistema propuesto por Nakamoto integró

varios de los desarrollos técnicos mencionados en el apartado anterior, como técnicas criptográficas, estructuras encadenadas de datos y mecanismos de consenso distribuidos que, combinados con un sistema de incentivos económicos, dieron origen a una red descentralizada capaz de procesar transacciones sin necesidad de intermediarios.

Más allá de su dimensión financiera, lo verdaderamente innovador es la tecnología subyacente que hace posible este sistema de pagos: la que hoy conocemos como tecnología *blockchain*, un modelo innovador de registro que permite almacenar, verificar y resguardar información de manera descentralizada, transparente, segura e inmutable. Si bien en el documento fundacional de Bitcoin no se utilizó expresamente el término *blockchain*, la descripción que se hace del encadenamiento de bloques constituye el origen de lo que hoy conocemos con ese nombre y que, con el tiempo, fue adoptado por otros sistemas digitales, dando lugar a una gran variedad de criptoactivos; es decir, representaciones digitales de valor que utilizan la criptografía y la tecnología de registro distribuido para garantizar su integridad y trazabilidad. Sin embargo, como se analizará a lo largo de este informe, su potencial trasciende el ámbito financiero y hoy en día ya se aplica en múltiples sectores.

Un tipo específico de tecnología de registro distribuido (DLT)

Para comprender mejor su funcionamiento y alcance, es necesario enmarcar a la tecnología *blockchain* dentro de un grupo más amplio de tecnologías conocidas como tecnologías de registro distribuido (*distributed ledger technologies*, DLT), que permiten registrar, compartir y sincronizar datos entre múltiples participantes mediante un libro contable compartido, reduciendo y en algunos casos eliminando la necesidad de una autoridad central.

Los registros distribuidos existen incluso desde antes de la aparición de la tecnología *blockchain*. Esta constituye un tipo específico de DLT, caracterizado por su modo particular de organizar y proteger la información. Que un registro sea distribuido significa que múltiples computadoras (participantes de la red que se conocen como nodos) mantienen de forma simultánea una copia sincronizada de la información. Esto evita la existencia de un punto único de control o de fallo, y contribuye a que el sistema sea más resistente, seguro y confiable.

A diferencia de otras formas de DLT, la *blockchain* organiza la información en bloques que están criptográficamente encadenados entre sí. Cada bloque contiene un conjunto de datos (en el caso de Bitcoin y otros criptoactivos, de transacciones), y se vincula al bloque anterior mediante una función matemática llamada *hash*: un código único representado por un valor alfanumérico, que se genera a partir de la aplicación de un algoritmo criptográfico sobre los datos, y funciona como una huella digital de los mismos. Como resultado de este encadenamiento criptográfico, si alguien intentara modificar el contenido de un bloque, el *hash* resultante cambiaría e invalidaría el enlace con los bloques siguientes, dejando en evidencia la manipulación. De esta forma, la tecnología *blockchain* introdujo un modelo específico de organización y almacenamiento de los datos que integra diversos elementos y desarrollos tecnológicos: redes entre pares (*peer-to-peer*), técnicas criptográficas, algoritmos de *hashing* y mecanismos de consenso distribuidos. En este sistema, todos los nodos tienen el mismo nivel jerárquico y no existe un servidor central que sea superior (cada uno de ellos puede enviar, recibir y validar información). Esta configuración permite que la red funcione de manera autónoma: una vez que un bloque se registra, toda la red conserva una copia sincronizada y actualizada del mismo.

Funcionamiento de la tecnología *blockchain*

Para comprender mejor el funcionamiento de esta tecnología, puede recurrirse a una metáfora sencilla: la *blockchain* puede imaginarse como un libro contable digital compartido, que se actualiza de manera coordinada entre todos los participantes de una red descentralizada. Cada integrante de

la red accede a la misma versión de este registro, lo que garantiza transparencia y coherencia en la información. Para hacerlo posible, la información se organiza en unidades llamadas bloques, que contienen registros de datos. El término “bloques” aparece en el documento fundacional de Bitcoin, donde se describe cómo los datos se agrupan en bloques sucesivos que se encadenan entre sí. En el caso de Bitcoin y otros activos digitales, esos registros corresponden a diferentes transacciones. Siguiendo con la metáfora, cada página del libro representa un bloque; y cada renglón de la página, una transacción. Cuando la página se completa, se genera su *hash* y se continúa con la siguiente, dando comienzo a un nuevo bloque. Ese nuevo bloque tendrá una referencia al *hash* del bloque anterior, lo que garantiza la integridad e inmutabilidad del registro. Consecuentemente, la cadena de bloques crece a medida que se agregan nuevos bloques de forma cronológica.

Para garantizar que los datos registrados sean válidos y no puedan ser manipulados, la *blockchain* recurre, por un lado, a la criptografía asimétrica, que mediante el uso de claves públicas y privadas permite identificar y proteger los registros; y, por otro lado, a los protocolos de consenso distribuidos, que permiten que todos los participantes de la red se pongan de acuerdo sobre el estado actual del sistema, sin necesidad de confiar en una entidad central. En el caso de Bitcoin, dicho consenso se logra a través del mecanismo de prueba de trabajo.¹

Cada nodo de la red mantiene una copia completa del registro y puede verificar de manera independiente la validez de las transacciones. Este diseño permite que no exista un único punto de control ni de fallo, que el sistema sea abierto y transparente, y altamente resistente frente a intentos de manipulación o interrupciones. Retomando la metáfora, cada persona que se incorpora a la red conserva su propia copia del libro. Cuando un bloque es validado y agregado a la cadena, es como si se añadiera una nueva página al libro: todas las copias del libro distribuidas entre los diferentes participantes de la red se actualizan de manera simultánea. De este modo, el conjunto de páginas o bloques encadenados se convierte en un registro único y consensuado, considerado permanente e inmutable.

La tecnología *blockchain*, en suma, integra diversos componentes que dan lugar a una infraestructura segura y descentralizada para el almacenamiento y la verificación de información, que establece nuevas formas de consenso y confianza en entornos digitales. Si bien en los inicios de esta tecnología esa información correspondía principalmente a transacciones financieras, lo que dio lugar a la creación de numerosas *blockchain*, ya que cada criptoactivo contaba con su propia red, hoy en día la información registrada en *blockchain* abarca una amplia variedad de datos y aplicaciones más allá del ámbito monetario.

Un modelo tecnológico con múltiples variantes

Aunque todas las *blockchain* comparten principios comunes, su infraestructura puede variar de acuerdo con el propósito del proyecto, el mecanismo de consenso elegido o su grado de apertura. En consecuencia, es habitual clasificarlas en tres grandes tipos:

- *Públicas*: redes abiertas, a las que puede acceder cualquier individuo que posea una computadora y conexión a Internet. Están diseñadas para eliminar intermediarios centralizados y operar de forma descentralizada. En este tipo de redes, cualquier participante puede validar y consultar el historial de transacciones. Ejemplos de este tipo de red son Bitcoin y Ethereum.

- *Privadas*: gestionadas por una entidad que controla quién puede formar parte de la red. El acceso está restringido, se otorga por invitación o permisos, y solo ciertos nodos están autorizados para validar bloques o registrar información.

¹ Para más información sobre este mecanismo, véase Antonopoulos (2017).

- *Híbridas y de consorcio*: estas *blockchain* combinan elementos de las redes públicas y de las privadas. En las híbridas, parte de la información es accesible públicamente, mientras que otros procesos se mantienen restringidos. En las de consorcio, distintas organizaciones o entidades previamente autorizadas comparten la administración y validación del sistema. Este tipo de redes resulta especialmente útil en sectores como la logística, donde se busca equilibrar transparencia, control y confidencialidad (Attaran & Gunasekaran, 2019).

Características principales de la tecnología *blockchain*

Antes de adentrarnos en sus aplicaciones concretas, resulta útil repasar las principales características que hacen de la tecnología *blockchain* una forma innovadora de registrar datos. Estas, si bien se expresan de manera más evidente en las redes públicas y abiertas, también pueden manifestarse, con ciertas variaciones, en redes privadas, híbridas o de consorcio. Entre las más representativas se encuentran:

1. *Descentralización*: a diferencia de los sistemas tradicionales, donde una entidad central valida y registra la información, como pueden ser transacciones, con la tecnología *blockchain* este rol recae en una red distribuida de participantes (Perera *et al.*, 2020). Esto permite validar datos sin que los participantes (nodos) necesiten conocerse previamente ni confiar entre sí (Xu, Weber & Staples, 2019).
2. *Distribución*: la información no se almacena en un único servidor, sino que se replica en múltiples nodos de la red, cada uno con una copia sincronizada del registro (Zheng *et al.*, 2017).
3. *Consenso*: para agregar un nuevo bloque a la cadena, los nodos deben acordar sobre el estado del registro. Existen diferentes mecanismos de consenso: en el caso de Bitcoin, se utiliza la prueba de trabajo, mientras que en el caso de Ethereum se utiliza la “prueba de participación” (*proof of stake*).
4. *Inmutabilidad*: una vez que la información se registra en un bloque y este es validado por la red, no puede modificarse sin alterar toda la cadena (Perera *et al.*, 2020). Esto se debe a que cada bloque contiene una referencia criptográfica al bloque anterior. La combinación de esta estructura con el consenso distribuido hace que revertir una transacción sea prácticamente imposible (Zheng *et al.*, 2017).
5. *Transparencia*: en las redes públicas, todas las transacciones son visibles y auditables (Perera *et al.*, 2020). Cada transacción queda registrada con una marca de tiempo y puede rastrearse hasta su origen (Perera *et al.*, 2020). Por ejemplo, Bitcoin utiliza el modelo de salidas de transacciones no gastadas (UTXO, por sus siglas en inglés), que permite seguir con precisión el historial completo de los fondos (Zheng *et al.*, 2017).
6. *Seudoanonimato*: aunque se suele hablar de “anonimato” en *blockchain*, lo cierto es que la mayoría de las redes ofrece un seudoanonimato. En el caso de los criptoactivos, los usuarios interactúan mediante direcciones alfanuméricas que no están directamente vinculadas a su identidad real (Zheng *et al.*, 2017). No obstante, múltiples casos han demostrado que, mediante el análisis de patrones de transacción, es posible vincular direcciones a personas físicas (Xu, Weber & Staples, 2019).
7. *Seguridad*: la seguridad en *blockchain* se basa en la criptografía de clave pública y privada. Cada participante posee una clave privada que le permite firmar digitalmente transacciones, y una clave

pública que actúa como su dirección visible en la red. Además, la información se protege mediante funciones *hash* y mecanismos de validación, que dificultan los intentos de manipulación o fraude. Mientras que la encriptación permite mantener la privacidad de los datos, las firmas digitales garantizan su autenticidad e integridad (Perera *et al.*, 2020).

En conjunto, estas propiedades dotan a la tecnología *blockchain* de un nivel de confianza distribuida sin precedentes en la historia de los sistemas digitales, al permitir que la verificación, la seguridad y la transparencia se alcancen sin necesidad de una autoridad central.

1. Primeras aplicaciones y desafíos de la tecnología *blockchain*

Como se explicó en las secciones anteriores, la tecnología *blockchain* surge a partir de la publicación del documento fundacional de Bitcoin, en el que se propone un sistema de pago descentralizado que permite realizar transacciones sin necesidad de intermediarios. A partir de esa base, surgieron diversos tipos de criptoactivos con funciones y propósitos diferenciados, lo que amplió el alcance de la tecnología y sentó las bases para su aplicación en otros contextos.

En la actualidad, su evolución y su extendido desarrollo puede comprenderse a partir de una serie de hitos fundamentales que reflejan cómo se han ido incorporando progresivamente mejoras técnicas y nuevas formas de uso, hasta consolidarse en una infraestructura con aplicaciones cada vez más diversas y sofisticadas.

1.1. Contratos inteligentes, *dApps*, ICO y DAO

En 2015, Vitalik Buterin presentó Ethereum, una *blockchain* que extendió las posibilidades de esta tecnología al incorporar la figura de los contratos inteligentes (Buterin, 2014). Estos pueden pensarse como instrucciones escritas en código que se ejecutan de manera automática cuando se cumplen determinadas condiciones, sin necesidad de intermediarios. Los contratos inteligentes permitieron que la *blockchain* dejara de ser solamente una forma de registrar transacciones para convertirse en una infraestructura más amplia, sobre la cual se pueden desarrollar aplicaciones descentralizadas (*dApps*), como así también emitir los activos digitales conocidos como *tokens* (Buterin, 2021).

Durante este período, aparecieron también las ofertas iniciales de monedas (ICO) como mecanismo de financiamiento para proyectos tecnológicos y comenzaron a probarse las primeras organizaciones autónomas descentralizadas (DAO), que permiten modelos de gobernanza en los que las decisiones se toman colectivamente a través de reglas programadas en una *blockchain*. Así, la tecnología *blockchain* comenzó a expandirse más allá del ámbito estrictamente financiero, surgiendo en consecuencia las redes privadas, híbridas y de consorcio, pensadas para soluciones empresariales y sectoriales donde era necesario combinar la transparencia de un registro distribuido con mayores niveles de control y confidencialidad. De esta forma, empezaron a implementarse casos de uso en ámbitos diversos: trazabilidad de cadenas de suministro, gestión de identidad digital y certificación académica, entre otros.

Este período de desarrollo también estuvo marcado por un creciente interés del sector público y organismos internacionales, que comenzaron a explorar el potencial de la *blockchain* en contextos concretos y con objetivos específicos (Berryhill, Bourgerly & Hanson, 2018).

1.2. Interoperabilidad y escalabilidad

A medida que la tecnología *blockchain* fue adquiriendo relevancia, comenzaron a evidenciarse algunas de sus limitaciones. El propio Vitalik Buterin, sintetizó este desafío en lo que denominó el “trilema de la *blockchain*”, que establece que una red puede ser escalable y segura, pero no descentralizada; o segura y descentralizada pero no escalable; o escalable y descentralizada, pero no segura. Se trata de una simplificación de las elecciones que deben tomar los desarrolladores al intentar resolver esas tensiones y explica por qué existen tantas *blockchain* diferentes, de acuerdo con la virtud que se busque priorizar.

En este contexto, dos aspectos técnicos fundamentales comenzaron a discutirse: la interoperabilidad y la escalabilidad de las redes. La interoperabilidad refiere a la posibilidad de que distintas *blockchain* puedan comunicarse entre sí y compartir información, sin necesidad de un intermediario. Esto permite

integrar aplicaciones y facilitar intercambios entre redes diferentes y hacer que la experiencia del usuario sea más sencilla. Se han desarrollado diversas soluciones para mejorar la interoperabilidad entre redes *blockchain*. Entre las más relevantes se encuentran las *sidechains*, redes independientes que operan en paralelo y son compatibles con la cadena principal; los oráculos, que conectan el entorno *on-chain* y el *off-chain*; los *cross-chain bridges* o puentes, que permiten bloquear un activo digital en una cadena y emitir su equivalente en otra, y los *atomic swaps*, que posibilitan el intercambio directo de *tokens* entre distintas redes de forma descentralizada.

Por otro lado, la escalabilidad se convirtió en un desafío prioritario atento a que las primeras redes públicas procesaban pocas transacciones por segundo, lo cual resultaba insuficiente frente a la creciente demanda de usuarios y aplicaciones. Este límite técnico no solo afectaba la velocidad, sino también el costo de las operaciones, generando congestión y tarifas elevadas en momentos de alta demanda. Para superar esa barrera, se exploraron dos grandes tipos de soluciones: soluciones de capa 1 y soluciones de capa 2. En el ecosistema *blockchain* suele hablarse de distintas “capas” tecnológicas. La capa 1 hace referencia a la *blockchain* principal; es decir, el protocolo base donde se registran de forma inmutable las transacciones y que garantiza la seguridad y la descentralización de la red. La capa 2, en cambio, está formada por soluciones que se construyen sobre esa infraestructura principal y que permiten procesar operaciones fuera de la cadena principal, enviando a esta solamente la información necesaria. De esta manera, la capa 1 asegura la integridad del sistema, mientras que la capa 2 aporta velocidad y eficiencia, descargando parte del trabajo y haciendo posible que la red escale a un mayor volumen de transacciones.

Las soluciones de capa 1 son aquellas que modifican directamente las reglas del protocolo de la red. Por ejemplo, esto ocurrió cuando en Ethereum se llevó a cabo una transición del mecanismo de consenso prueba de trabajo al de prueba de participación.² Por su parte, las soluciones de capa 2 son aquellas construidas sobre la capa 1, que trasladan parte de las operaciones fuera de la cadena principal y solo registran en ella el resultado final. De esta manera, asumen la mayor parte del procesamiento de la red a través de canales de comunicación autenticados y privados. Esto sucede, por ejemplo, en Bitcoin con la red Lightning Network que, al construirse sobre la capa 1, permite que las transacciones pasen de tardar varios minutos en la red principal a concretarse en cuestión de milisegundos, con costos muy bajos y capacidad para procesar miles de millones de operaciones por segundo.³ También existen soluciones de capa 2 en Ethereum, como Polygon o Arbitrum, orientadas a mejorar la velocidad y la interoperabilidad con la red principal. Estos protocolos emplean distintos mecanismos de escalabilidad, como los *roll-ups*, en sus variantes optimistas o de conocimiento cero (*zk-proofs*), que permiten agrupar transacciones y procesarlas fuera de la cadena principal sin comprometer la seguridad del sistema.⁴

Estas innovaciones demuestran cómo la *blockchain* ya no era vista únicamente como una promesa tecnológica, sino como una infraestructura en desarrollo, que debía adaptarse para sostener su crecimiento y permitir aplicaciones cada vez más complejas.

1.3. NFT, monedas estables y DeFi

A medida que la tecnología *blockchain* fue resolviendo algunos de sus desafíos técnicos, surgieron nuevas formas de aplicación orientadas a la creación y gestión de activos digitales. En 2017, se popularizaron los *tokens* no fungibles (*non-fungible tokens*, NFT), que introdujeron una nueva forma

² El cambio de mecanismo de consenso en Ethereum fue impulsado, entre otras razones, por la necesidad de reducir su impacto ambiental al disminuir drásticamente el consumo de energía. Más información disponible en: Kapengut & Mizrach (2023).

³ Más información sobre el funcionamiento técnico de la Lightning Network en: Poon & Dryja (2016).

⁴ Más información sobre *roll-ups* y pruebas criptográficas de conocimiento cero (*zk-proofs*) en: Gangwal, Gangavalli & Thirupathi (2022).

de representar activos digitales únicos y verificables en la *blockchain*. A diferencia de los criptoactivos tradicionales, que son intercambiables entre sí y tienen un mismo valor, los NFT son unidades digitales irrepetibles que pueden asociarse a un bien específico, como una obra de arte, una pieza musical, un documento o un objeto dentro de un entorno virtual. Su autenticidad y propiedad se registran en la *blockchain*, lo que permite demostrar de manera transparente quién es su titular y garantizar la trazabilidad de cada intercambio.

Estos *tokens* tuvieron un fuerte impacto en industrias como la propiedad intelectual, el arte y el entretenimiento, al abrir nuevas formas de comercializar y certificar la autoría de contenidos digitales. En paralelo, comenzó a consolidarse la expansión de las monedas estables (*stablecoins*), activos digitales diseñados para mantener un valor estable en relación con otro activo de referencia mediante distintos mecanismos de respaldo o control de su emisión. Estas se han convertido con el tiempo en piezas centrales del ecosistema al facilitar transacciones cotidianas y ofrecer una alternativa menos volátil que otros criptoactivos. Su crecimiento, sin embargo, ha impulsado debates sobre la necesidad de mecanismos de auditoría y mayor transparencia, así como sobre la importancia de contar con marcos regulatorios claros que garanticen su estabilidad.

En este contexto, las finanzas descentralizadas (DeFi) emergieron como uno de los desarrollos más transformadores. Se trata de un ecosistema de protocolos y aplicaciones que, a través de contratos inteligentes, ofrecen servicios financieros como préstamos, intercambios de activos o generación de rendimientos, sin la intervención de bancos u otros intermediarios, dando lugar a innovaciones que no tenían precedentes en la banca tradicional. Entre los casos más representativos se encuentran los protocolos de préstamos automatizados, las plataformas de intercambio descentralizadas (DEX) y los sistemas de provisión de liquidez que permiten obtener rendimientos de forma programada mediante contratos inteligentes. Estas innovaciones amplían el acceso a servicios financieros globales, aunque todavía enfrentan desafíos en materia de seguridad, gobernanza y cumplimiento regulatorio.

En conjunto, los desarrollos y avances hasta aquí mencionados, desde los *tokens* no fungibles y las monedas estables hasta las finanzas descentralizadas, reflejan una etapa de madurez creciente del ecosistema, en la que la tecnología *blockchain* deja de asociarse exclusivamente al ámbito de los criptoactivos y comienza a consolidarse como una infraestructura con aplicaciones más amplias. Aunque aún persisten importantes desafíos de índole técnica, como la escalabilidad y la interoperabilidad, su potencial transformador es ampliamente reconocido y la posiciona como una de las tecnologías con mayor capacidad para redefinir procesos económicos y sociales a nivel global.

2. Campos de aplicación de la tecnología *blockchain*

A lo largo de los últimos años, y en gran parte gracias a los desarrollos recién mencionados, la tecnología *blockchain* se ha consolidado como una de las innovaciones tecnológicas que integran la llamada Cuarta Revolución Industrial, junto con la inteligencia artificial (AI) y el Internet de las cosas (IoT). Así, si bien la tecnología *blockchain* por sí misma ha representado un cambio disruptivo, lo cierto es que su convergencia con otras tecnologías es lo que está redefiniendo los mecanismos de confianza, los modelos de negocio y las estructuras organizativas en entornos digitales, entre otros aspectos. En este marco, si bien los orígenes de la tecnología *blockchain* estuvieron vinculados a una solución de carácter económico, al tratarse de un mecanismo descentralizado de registro y verificación de datos e información, se han multiplicado rápidamente sus áreas de aplicación.

Comprender los posibles campos de aplicación de la tecnología *blockchain* permite identificar de qué manera sus principios —la descentralización, la transparencia y la inmutabilidad— pueden traducirse en soluciones concretas con impacto social, institucional y económico. Además de dichas propiedades técnicas, la tecnología *blockchain* ofrece una serie de ventajas que la distinguen de los modelos tradicionales de registro y validación de información. Estas ventajas explican por qué su aplicación se está explorando en contextos tan diversos y por qué su impacto trasciende el ámbito financiero. Entre sus principales aportes, se destacan la trazabilidad y la transparencia de la información; la reducción de costos y tiempos al eliminar intermediarios y digitalizar procesos; la inclusión de personas tradicionalmente excluidas del sistema tradicional; la autonomía del usuario en la gestión de sus datos y la soberanía sobre la información, al permitir controlar quién accede a ella y en qué condiciones; y su potencial para la innovación social, mediante nuevas formas de organización como la gobernanza descentralizada, la economía colaborativa o la gestión comunitaria de recursos que promueven mayor transparencia y participación.

Gracias a sus características intrínsecas, la tecnología *blockchain* se ha consolidado como una infraestructura transversal con aplicaciones en múltiples sectores. A modo de ejemplo, el ámbito de la salud permite garantizar la inmutabilidad de los historiales médicos y mejorar el control de las vacunas; en la logística y el comercio internacional, optimiza la trazabilidad de los productos; en el sector energético, posibilita una gestión descentralizada de las redes eléctricas; en el campo de la identidad digital, promueve modelos soberanos y autoverificables; en el arte, impulsa nuevas formas de propiedad intelectual; y en la administración pública, aporta transparencia a registros notariales y procesos electorales, por mencionar algunos ejemplos.

A continuación, se hará foco en aquellos ámbitos de aplicación que se vinculan directamente con los tres pilares centrales de la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI): la educación, la ciencia y la cultura.

2.1. Aplicación de la tecnología *blockchain* en la educación

En el ámbito educativo, la adopción de la tecnología *blockchain* avanza como una herramienta destinada a fortalecer la seguridad y la confianza en la gestión académica. En esta sección abordaremos dos áreas complementarias: por un lado, la emisión y verificación de certificados académicos; y por otro lado, la identidad digital soberana y el uso de credenciales verificables como modelo más amplio para la gestión de información educativa.

2.1.1. Emisión y verificación de certificados académicos

Una de las aplicaciones más consolidadas de la tecnología *blockchain* en el ámbito educativo es la emisión y verificación de certificados académicos. Las certificaciones académicas, como puede ser un título escolar o uno universitario, pueden ser registradas en una *blockchain* de modo descentralizado.

En la práctica, esto significa que, además del diploma en formato PDF, se genera un registro digital único en la *blockchain* que incluye información básica como el título obtenido, el nombre del estudiante, la institución que lo emite y la fecha de expedición. Esta información se almacena en un bloque de la cadena, que está enlazado a otros y protegido criptográficamente. Al estar registrado en una cadena de bloques, obtiene todos los beneficios inherentes a esta tecnología. Esto significa que el registro es inmutable, no puede alterarse ni falsificarse, y quedará disponible de manera permanente.

Un aspecto importante de los certificados registrados en *blockchain* es que la información privada del estudiante no se almacena directamente en la red. Lo que se suele registrar es un *hash* del certificado, que puede utilizarse únicamente para verificar la autenticidad de los datos. En la práctica, esto permite comparar un certificado con la referencia registrada en la *blockchain* para confirmar que no ha sido alterado, sin que sea posible reconstruir la información original y acceder a los datos personales.

Lo valioso de utilizar esta tecnología no radica únicamente en la inmutabilidad del registro, que garantiza su autenticidad, sino también en la posibilidad de consultarlo o verificarlo posteriormente, de forma instantánea, desde cualquier parte del mundo. Esta posibilidad reduce la necesidad de trámites burocráticos excesivos y comprobaciones manuales, que suelen ser costosos y lentos, permitiendo una mejor comunicación entre sistemas educativos y laborales. Así, la trayectoria académica de una persona puede ser fácilmente validada por terceros, sin importar la jurisdicción o el país en el que se haya emitido la credencial.

Asimismo, en la actualidad, la falsificación de títulos educativos constituye una problemática que afecta tanto a instituciones educativas en procesos de admisión universitaria, como a empleadores y organismos públicos en procesos de contratación laboral. El registro de las credenciales académicas en una *blockchain* permite garantizar que la credencial presentada por un individuo sea veraz y auténtica sin necesidad de tener que contactar a la institución que la emitió.

En síntesis, la aplicación de la tecnología *blockchain* en el campo educativo impulsa un cambio estructural hacia sistemas más transparentes, conectados entre sí y orientados al estudiante, con impactos directos en la educación, la empleabilidad y la movilidad nacional e internacional.

La primera implementación a gran escala de certificaciones académicas en *blockchain* tuvo lugar en 2015, cuando la Universidad de Nicosia (UNIC), en Chipre, comenzó a registrar en la *blockchain* de Bitcoin algunos de los diplomas correspondientes a sus estudiantes, convirtiéndose así en la primera institución en el mundo en utilizar esta tecnología para garantizar la autenticidad y trazabilidad de los títulos que expide (Universidad de Nicosia, 2015). Desde 2017, la Universidad de Nicosia registra todos sus diplomas en la *blockchain* de Bitcoin. El proceso comienza con la generación de un archivo PDF que contiene la información esencial del diploma. Ese archivo se firma digitalmente con una clave privada que solo la universidad controla, incorporando la firma al propio certificado. A continuación, se obtiene un *hash* del documento, que servirá para verificar su autenticidad en el futuro. Finalmente, utilizando la misma clave privada, la universidad crea un registro en la *blockchain* de Bitcoin que ancla ese *hash* de manera permanente, garantizando así la integridad del diploma y la imposibilidad de alterarlo. Sin ánimo de profundizar en tecnicismos, para ello la universidad desarrolló un protocolo propio que emplea el operador OP_RETURN de Bitcoin, una función que permite incluir una pequeña cantidad de datos (en este caso, los metadatos asociados al certificado académico), dentro de dicho registro en la cadena.⁵

⁵ El comando OP_RETURN es una instrucción del lenguaje de scripting de Bitcoin que permite adjuntar hasta 80 bytes de datos a una transacción, marcando esa salida como no gastable. Se utiliza para registrar metadatos de forma inmutable en la cadena de bloques. Más información técnica sobre su uso y evolución en: Bartoletti & Pompianu (2017).

La experiencia de Nicosia marcó un precedente para el desarrollo de iniciativas posteriores en el ámbito de la certificación académica digital. En esa línea, el MIT (Massachusetts Institute of Technology) presentó en 2016, a través de su laboratorio Media Lab, la billetera Blockcerts Wallet, un estándar abierto para la emisión de certificados verificables en *blockchain* (MIT Media Lab & Learning Machine, 2016). Estos certificados se sustentan en tecnologías de identidad digital descentralizada y en el uso de firmas criptográficas, lo que garantiza la integridad y autenticidad de los diplomas registrados en redes públicas como Bitcoin o Ethereum. El sistema fue concebido con criterios de interoperabilidad, portabilidad y resistencia a la censura; es decir, se diseñó para que la información registrada no pueda ser bloqueada, modificada ni eliminada por una autoridad central o un tercero, lo que explica su adopción posterior por otras universidades, gobiernos y empresas de distintos países.⁶

El funcionamiento de Blockcerts se basa en la creación de un certificado firmado digitalmente por la institución emisora y vinculado a la dirección pública del receptor. El certificado se agrupa con otros en un bloque, cuyo *hash* se registra en la *blockchain* mediante una transacción que incluye, al igual que en el caso de UNIC, un campo OP_RETURN, lo cual genera una prueba inmutable de la existencia y validez del documento. Si bien inicialmente Blockcerts se implementó en la *blockchain* Bitcoin, su desarrollo se amplió a Ethereum y actualmente puede extenderse también a otras redes públicas y privadas.

2.1.2. Identidad digital soberana y credenciales verificables

Además de ofrecer una nueva forma de registrar certificados académicos, la tecnología *blockchain* también se vincula con el sector educativo, como ya se adelantó, a través de la redefinición de la identidad digital y la gestión de los individuos de sus credenciales educativas. La identidad digital soberana (*self-sovereign identity*, SSI) es un modelo conceptual en desarrollo que busca colocar al individuo en el centro de la gestión de su identidad digital. La premisa central de este modelo radica en que cada persona pueda crear, almacenar y compartir sus credenciales, como pueden ser las educativas, sin depender de autoridades centrales que concentren el control. Hoy en día no se trata de una realidad plenamente alcanzada, sino de un ideal hacia el cual avanzan distintos proyectos y marcos tecnológicos.

Para entender este concepto, es útil observar cómo han evolucionado los modelos de identidad en Internet a lo largo de los años. En un principio, predominó un modelo totalmente centralizado, en el que cada servicio creaba y gestionaba sus propios usuarios y contraseñas. Por ejemplo, una persona podía tener un usuario y una contraseña diferentes para Hotmail, Yahoo o un foro en línea, sin que estas contraseñas tengan relación entre sí. Luego surgió el modelo federado, que permitió usar un mismo proveedor de identidad para acceder a múltiples plataformas. Servicios de autenticación como los ofrecidos por Google o Microsoft son ejemplos claros: con una sola cuenta es posible acceder a decenas de servicios, aunque eso implica concentrar gran parte de la custodia de los datos en esas empresas. Posteriormente, se impulsó un modelo centrado en el usuario, con iniciativas como Auth0 (2025), que otorga mayor capacidad de decisión a las personas sobre qué información personal compartir. Sin embargo, en este tipo de soluciones, se sigue dependiendo de proveedores que tienen la potestad de cambiar las reglas o cerrar accesos.

En último lugar, surge la propuesta de la identidad digital soberana, basada en los identificadores descentralizados (*decentralized identifiers*, DID) y las credenciales verificables, que busca que cada persona gestione directamente sus credenciales y decida cuándo, cómo y con quién compartirlas, sin depender de un proveedor central. En este nuevo esquema, los individuos gestionan sus credenciales

⁶ Un ejemplo destacado es el del Ministerio de Educación y Empleo de Malta, que en 2017 implementó un sistema basado en Blockcerts para la verificación de credenciales académicas en *blockchain*. Más información en: European Commission & Joint Research Centre (2019).

verificables desde una billetera digital instalada en un dispositivo personal. Estas credenciales, que pueden ser de índole educativa, son documentos electrónicos firmados criptográficamente por la institución emisora —como puede ser, en el caso que nos ocupa, una universidad— y pueden compartirse de manera selectiva con terceros como empleadores o autoridades educativas. La validación de estas credenciales puede realizarse mediante pruebas criptográficas, con el registro de *hashes* en una *blockchain*, garantizando de esta forma la integridad de los datos sin necesidad de intermediarios.

Los sistemas de SSI se apoyan en principios reconocidos a nivel internacional, entre ellos: existencia, control, acceso, transparencia, persistencia, portabilidad, interoperabilidad, consentimiento, minimización, protección y verificabilidad. Estos principios, formulados originalmente por Christopher Allen y ampliados en estudios posteriores, permiten evaluar la solidez de cada implementación y constituyen la base de un ecosistema confiable de identidad digital. Diversas investigaciones han mostrado que las soluciones basadas en *blockchain* tienden a cumplir un mayor número de estas propiedades que los modelos tradicionales (van Bokkem *et al.*, 2019). La implementación de SSI y credenciales verificables en los sistemas educativos ofrece beneficios concretos: permite al individuo conservar un historial académico portable y seguro, facilita la movilidad nacional e internacional, agiliza la validación de competencias en procesos de admisión o contratación y reduce el riesgo de falsificación de títulos. Además, tiene un impacto social relevante, ya que favorece la inclusión de poblaciones migrantes o desplazadas que carecen de documentación física y contribuye a la eficiencia económica al reducir los costos administrativos asociados a la validación de credenciales.

En síntesis, la identidad digital soberana y las credenciales verificables aplicadas al ámbito educativo permiten construir un ecosistema más transparente, inclusivo y centrado en la persona. Aunque la tecnología *blockchain* no es estrictamente indispensable para su implementación, constituye una base sólida para su desarrollo gracias a sus ventajas de transparencia, inmutabilidad y consenso distribuido.

2.1.3. Desafíos y perspectivas de cara al futuro

La aplicación de la tecnología *blockchain* en el ámbito educativo plantea todavía una serie de desafíos. Entre los principales se encuentran la necesidad de avanzar hacia estándares técnicos que garanticen la interoperabilidad entre sistemas, la adecuada protección de los datos personales cuando se utilizan registros públicos y la persistente brecha digital que limita el acceso equitativo a estas soluciones.

Sin perjuicio de ello, distintas investigaciones coinciden en que el potencial de esta tecnología para fortalecer un ecosistema educativo más transparente, confiable y orientado a la persona es considerable (El Koshiry, Abdelsalam & Zhou, 2023). Las experiencias positivas de la Universidad de Nicosia y del MIT, junto con el avance de otros proyectos basados en credenciales verificables e identidad digital descentralizada, evidencian que esta tecnología ya está empezando a transformar la forma en que se reconocen y validan los aprendizajes. En el mediano plazo, su uso podría consolidarse como una práctica extendida para la certificación académica y profesional en un entorno cada vez más digital e interconectado.

El uso de *blockchain* en la educación no solo representa una innovación tecnológica, sino también una oportunidad para fortalecer la cooperación regional, impulsar la confianza institucional y promover la transparencia en el reconocimiento del conocimiento.

2.2. Aplicación de la tecnología *blockchain* en la ciencia

La ciencia contemporánea enfrenta una crisis de confianza y trazabilidad que la tecnología *blockchain* puede ayudar a revertir. En la actualidad, la investigación científica se enfrenta a desafíos significativos como garantizar la integridad de los datos, hacer más transparentes los procesos, gestionar de manera

eficiente el conocimiento y, al mismo tiempo, acceder a las fuentes de financiamiento necesarias para poder avanzar. En este escenario, la tecnología *blockchain* ofrece una infraestructura que, al ser descentralizada, transparente e inmutable, puede contribuir a fortalecer distintos aspectos del ecosistema científico. A continuación, se presentan cuatro áreas en las que se está explorando cómo el uso de la tecnología *blockchain* podría aportar valor.

2.2.1. Integridad de los datos

Uno de los principales desafíos que enfrenta hoy la ciencia es la dificultad para reproducir resultados de manera confiable. A menudo, los experimentos no pueden replicarse porque los datos originales no están completos, las metodologías no se documentaron en detalle o los análisis se modificaron sin dejar registro. Esta situación, conocida como crisis de reproducibilidad, ha sido documentada en numerosos estudios y pone en duda la solidez de ciertos hallazgos científicos.

En este punto, el valor de la tecnología *blockchain* no radica solamente en la posibilidad de almacenar información, sino en asegurar que todo el proceso de investigación quede registrado de forma transparente y verificable: desde los datos originales y los protocolos empleados hasta los análisis intermedios y las conclusiones. A través de funciones *hash*, que certifican la autenticidad de los archivos, y de marcas de tiempo que establecen cuándo se generó cada registro, cualquier alteración posterior quedaría inmediatamente en evidencia. De esta manera, se fortalece la trazabilidad del trabajo científico y se ofrece a la comunidad académica la posibilidad de verificar no solo los resultados, sino también el recorrido completo que llevó a ellos. Esto no elimina los desafíos de la investigación, pero sí contribuye a recuperar la confianza en la ciencia y a fomentar prácticas más transparentes y colaborativas.

Sin embargo, garantizar la trazabilidad de los datos no es el único reto: también resulta esencial repensar cómo se protege y se comparte el conocimiento científico en entornos cada vez más abiertos y colaborativos.

2.2.2. Gestión de la propiedad intelectual en entornos abiertos

Para la investigación científica, otro de los desafíos radica en cómo proteger las ideas y los descubrimientos, sin frenar el intercambio de conocimiento. Mientras que los sistemas tradicionales de propiedad intelectual suelen ser lentos, burocráticos y poco compatibles con la dinámica actual de la ciencia abierta, donde compartir resultados tempranos es primordial para acelerar la innovación; la tecnología *blockchain* presenta una alternativa innovadora al permitir registrar un descubrimiento, una hipótesis o incluso una línea de investigación con fecha y hora cierta. Este registro no sustituye necesariamente a las patentes o a los derechos de autor, pero puede complementarlos y ofrecer una capa adicional de seguridad, transparencia e inmutabilidad.

Además, han comenzado a explorarse nuevas posibilidades para gestionar la circulación del conocimiento. La tecnología *blockchain* permite programar condiciones de uso o licenciamiento de forma automática y sin intermediarios, lo que abre la puerta a esquemas más flexibles de reconocimiento, distribución e incluso monetización del trabajo académico. Si bien todavía están en una etapa temprana y su integración con los marcos legales vigentes plantea desafíos, estas prácticas muestran un camino hacia modelos más dinámicos de protección intelectual.

En síntesis, la *blockchain* no resuelve por completo la tensión entre proteger la autoría y fomentar la colaboración, pero sí ofrece un mecanismo innovador para equilibrar ambos objetivos. De esta manera, es posible reconocer de manera transparente a aquellos que generan conocimiento, al mismo tiempo que se facilita su circulación, fortaleciendo la confianza y la eficiencia en la producción científica.

2.2.3. *Financiamiento científico descentralizado (DeSci)*

Los mecanismos tradicionales de financiamiento de la ciencia suelen estar marcados por trámites burocráticos y estructuras jerárquicas que, en muchos casos, dificultan el acceso a recursos para investigadores jóvenes o para proyectos innovadores. Esta situación genera un círculo vicioso: se suelen financiar proyectos conocidos o “seguros”, mientras que las ideas más innovadoras enfrentan dificultades para acceder a financiamiento.

La ciencia descentralizada (*decentralized science*, DeSci) propone alternativas al financiamiento tradicional. A través de *tokens*, organizaciones autónomas descentralizadas y contratos inteligentes, propone esquemas de financiamiento colectivo y gobernanza participativa. De esta manera, la decisión sobre a qué proyectos destinar recursos no depende solo de pocas personas o instituciones, sino que puede ser tomada de manera abierta por comunidades científicas o por ciudadanos interesados. A esto se suma la transparencia que otorga la *blockchain*, que permite seguir en tiempo real cómo se utilizan los recursos. Cada etapa de un proyecto, desde la asignación de fondos hasta los resultados preliminares, puede registrarse en la cadena de bloques y quedará disponible para cualquiera que quiera verificarla. Esto no solo genera mayor confianza, sino que también fomenta la inclusión y el control social en la gestión del financiamiento.

Existen hoy en día distintas organizaciones descentralizadas dedicadas a financiar investigaciones en las que, tanto científicos como inversores, participan en la selección de proyectos y en la distribución de recursos. A modo de ejemplo, uno de los apoyos más comentados fue el otorgado a un proyecto que buscaba identificar anticuerpos con potencial para proteger contra el Alzheimer y avanzar hacia diagnósticos tempranos y terapias preventivas. La comunidad involucrada aprobó colectivamente un financiamiento en ETH (criptomoneda nativa de la red Ethereum), mostrando cómo la gobernanza descentralizada puede movilizar recursos hacia investigaciones con alto impacto social.

Aunque este movimiento aún está en una fase incipiente y enfrenta retos legales y tecnológicos, su valor radica en la visión que propone: una ciencia más abierta, inclusiva y democrática, donde los procesos de financiamiento no sean un obstáculo, sino un motor para la innovación.

2.2.4. *Colaboración científica global y gobernanza distribuida*

Por último, la ciencia contemporánea exige cada vez mayor cooperación internacional. Proyectos en áreas como la secuenciación genética, el estudio del cambio climático o el desarrollo de nuevas vacunas requieren la participación coordinada de cientos de investigadores, universidades, laboratorios y organismos financiadores en distintos países. Sin embargo, en la práctica, estas colaboraciones suelen enfrentarse a obstáculos: marcos normativos diferentes, plataformas de trabajo fragmentadas y, sobre todo, la falta de confianza entre actores que no siempre comparten los mismos estándares ni tienen una infraestructura común para organizarse.

En este escenario, la tecnología *blockchain* puede ofrecer una solución a esta limitación. Al proporcionar un registro descentralizado y transparente, permite que múltiples instituciones gestionen de manera conjunta bases de datos abiertas, redes de intercambio de conocimiento o sistemas de revisión por pares. La trazabilidad inherente a la *blockchain* asegura que cada contribución quede registrada con claridad, facilitando la auditoría del proceso y el reconocimiento de las contribuciones individuales.

Otro aspecto relevante es el de la gobernanza. En el ámbito científico, la gobernanza hace referencia a los mecanismos mediante los cuales se toman decisiones colectivas: desde la asignación de recursos hasta la definición de prioridades de investigación o la resolución de disputas entre equipos. Tradicionalmente, estas decisiones han estado concentradas en instituciones o comités centrales, lo que a menudo genera desequilibrios y falta de transparencia.

Ahora bien, la tecnología *blockchain* permite replantear este modelo. Mediante contratos inteligentes, es posible distribuir la toma de decisiones de forma más equitativa y establecer reglas claras y automáticas sobre cómo se toman las decisiones, cómo se distribuyen los recursos o cómo se resuelven disputas. Esto reduce la necesidad de intermediarios centralizados y permite que la toma de decisiones sea más equitativa y consensuada. Esto resulta especialmente útil en iniciativas internacionales, como investigaciones climáticas, donde múltiples equipos de diferentes países deben compartir y validar datos de manera coordinada y confiable.

Aunque este tipo de aplicaciones todavía se encuentran en una etapa inicial, el horizonte es prometedor: una infraestructura tecnológica capaz de acompañar y reforzar la dimensión internacional de la ciencia, haciendo que la cooperación no dependa únicamente de acuerdos diplomáticos o institucionales, sino también de un marco compartido de transparencia, trazabilidad y confianza. En conjunto, estos desarrollos apuntan a un ecosistema científico más transparente, participativo y resiliente, donde la confianza no dependa exclusivamente de las instituciones, sino también de la tecnología que las respalda.

2.2.5. Consideraciones finales

Si bien la adopción de la tecnología *blockchain* en la ciencia todavía se encuentra en una fase inicial, su potencial es evidente. Esta tecnología ofrece herramientas para reforzar la integridad de los datos, dar más transparencia a los procesos y facilitar la colaboración entre equipos de todo el mundo, respondiendo a algunos de los grandes desafíos que hoy enfrenta la investigación científica.

Para que este potencial se materialice en soluciones reales, será necesario avanzar en estándares técnicos que garanticen la interoperabilidad, en marcos legales que acompañen esta nueva lógica y en políticas institucionales que promuevan la experimentación responsable. No se trata solo de utilizar la tecnología, sino de construir un ecosistema de confianza donde investigadores, universidades, organismos financiadores y comunidades ciudadanas puedan trabajar de manera conjunta. Ya existen indicios concretos que avocinan este cambio. Desde comunidades DeSci que financian proyectos de biomedicina hasta repositorios de datos que utilizan *blockchain* para asegurar la integridad y el acceso abierto. En definitiva, la tecnología *blockchain* no reemplazará la esencia del trabajo científico, pero sí puede convertirse en un aliado para que la producción de conocimiento sea más abierta, confiable y democrática.

Este enfoque representa una oportunidad para fortalecer la cooperación científica regional, fomentar la confianza en la investigación y promover un modelo de ciencia abierta, inclusiva y orientada al desarrollo sostenible del conocimiento.

2.3. Aplicación de la tecnología *blockchain* en la cultura

En el ámbito cultural, uno de los principales desafíos es asegurar que el patrimonio, desde documentos históricos y grabaciones sonoras, hasta obras de arte digitalizadas o colecciones completas, puedan conservarse de manera auténtica e íntegra y sean accesibles a lo largo del tiempo. A diferencia de los soportes físicos, los archivos digitales enfrentan vulnerabilidades propias: pueden alterarse sin dejar rastro, dañarse por fallas técnicas o volverse inaccesibles debido a la rápida obsolescencia de los formatos tecnológicos.

2.3.1. Preservación del patrimonio cultural

En este contexto, la tecnología *blockchain* es una herramienta que permite fortalecer la preservación y la gestión del patrimonio cultural. Su capacidad para registrar información de forma inmutable y transparente permite certificar quién creó un archivo, cuándo lo hizo, qué modificaciones tuvo con el tiempo y en qué momentos se transfirió su propiedad. Esta trazabilidad resulta especialmente útil en

museos, archivos y bibliotecas, donde llevar un registro detallado y confiable es crucial para garantizar la autenticidad de las piezas y reforzar la confianza del público en las instituciones que las resguardan.

Un ejemplo concreto de ello es el proyecto Archangel (Collomosse *et al.*, 2018), probado en los Archivos Nacionales del Reino Unido, que demostró cómo una *blockchain* puede asegurar que un documento no haya sido alterado desde su registro. En este caso, los archivos digitales se convierten en firmas criptográficas (*hashes*) que se registran en una cadena de bloques mantenida de manera colaborativa mediante un mecanismo de consenso de prueba de autoridad (*proof of authority*). De esta forma, cualquier persona puede verificar en el futuro si un documento coincide con su registro original, incluso aunque haya cambiado de formato con el paso del tiempo.

De esta manera, en lugar de depender únicamente de la autoridad de una institución que certifica la autenticidad de los documentos, la confianza se traslada a un sistema tecnológico transparente y compartido. Experiencias como esta muestran cómo la tecnología *blockchain* puede convertirse en una garantía de confianza y legitimidad en la preservación digital del patrimonio.

2.3.2. Gestión de derechos de autor y propiedad intelectual

El impacto de la tecnología *blockchain* en el ámbito cultural no se limita a la preservación del patrimonio cultural. También abre nuevas posibilidades para la gestión de derechos de autor y propiedad intelectual, un aspecto especialmente sensible en la era digital, donde la copia y la circulación de contenidos son inevitables. Tradicionalmente, los sistemas de gestión de derechos han sido complejos, fragmentados y poco transparentes. Esto hace que, muchas veces, los artistas y creadores no reciban un reconocimiento adecuado o que las compensaciones económicas tarden meses en llegar. Aquí es donde la tecnología *blockchain* puede marcar una diferencia.

A través de contratos inteligentes, los autores pueden programar de antemano reglas claras sobre cómo se pueden utilizar, reproducir o comercializar sus obras. Así, si una canción se descarga, un video se proyecta o una ilustración digital se utiliza en una plataforma, las condiciones de uso y el pago de los derechos de autor pueden ejecutarse de manera automática y transparente, sin necesidad de intermediarios. Este tipo de soluciones no solo protege los derechos de los creadores, sino que también facilita que sus obras circulen con mayor agilidad y seguridad. En lugar de frenar la difusión cultural, la tecnología *blockchain* ofrece un marco en el que compartir y proteger dejan de ser conceptos opuestos.

Algunas iniciativas ya han comenzado a explorar este camino. Por ejemplo, proyectos que utilizan *blockchain* para gestionar licencias musicales permiten que, cada vez que una canción se reproduce en línea, la retribución llegue directamente al artista sin pasar por intermediarios.⁷ Asimismo, en el campo de las artes visuales, se ensayan sistemas que garantizan que, incluso en la reventa de una obra digital, el autor reciba automáticamente un porcentaje, algo muy difícil de asegurar con los mecanismos actuales.

En definitiva, la tecnología *blockchain* abre la puerta a un modelo de gestión cultural más justo y transparente, donde los creadores mantienen el control sobre sus obras y, al mismo tiempo, el público puede acceder a ellas de forma más confiable.

2.3.3. Participación ciudadana y gobernanza cultural descentralizada

La tecnología *blockchain* también puede convertirse en una herramienta para ampliar la participación ciudadana en la gestión cultural. A través de modelos de gobernanza descentralizada, comunidades de artistas, gestores y ciudadanos pueden involucrarse en la toma de decisiones sobre proyectos, en

⁷ A modo de ejemplo, Revelator es una plataforma que utiliza la *blockchain* Flow para automatizar la distribución de regalías musicales mediante contratos inteligentes (Revelator Ltd., 2023).

la asignación de recursos o en la preservación de bienes patrimoniales. Estas formas de organización colectiva, que han comenzado a ensayarse en otros ámbitos mediante modelos de DAO, abren la posibilidad de democratizar la gestión cultural.

En lugar de que las decisiones dependan exclusivamente de instituciones centralizadas, los contratos inteligentes pueden programar procesos de votación abiertos, transparentes y verificables. Así, una comunidad local podría decidir colectivamente cómo destinar fondos para la restauración de un mural, o un grupo internacional de interesados podría participar en el financiamiento de la digitalización de un archivo histórico.

No obstante, estos modelos también enfrentan importantes desafíos. La escalabilidad y el consumo energético de ciertas redes públicas han motivado el interés por soluciones privadas o de consorcio, que ofrecen mayor eficiencia y un control institucional más adaptado a proyectos culturales (Lo Duca, Bacciu & Marchetti, 2020).

2.3.4. Reflexión y perspectivas

La aplicación de la tecnología *blockchain* en el ámbito cultural muestra cómo una tecnología pensada inicialmente para las finanzas puede convertirse en una aliada en la preservación y gestión del patrimonio. Desde la certificación de archivos y documentos hasta la protección de los derechos de autor y la creación de mecanismos de gobernanza descentralizada, esta tecnología ofrece herramientas para abordar problemas históricos vinculados con la autenticidad, la transparencia y la participación ciudadana.

Al mismo tiempo, estas aplicaciones no están exentas de desafíos. La complejidad técnica, los costos de implementación, la necesidad de marcos legales adecuados y las tensiones entre descentralización y control institucional son factores que todavía limitan su adopción masiva. Sin embargo, los proyectos piloto y las primeras experiencias demuestran que no se trata de una promesa abstracta: ya existen pruebas concretas de que las *blockchain* pueden reforzar la confianza en las instituciones culturales y abrir nuevas vías de relación con la ciudadanía.

En última instancia, la relevancia de las tecnologías *blockchain* en la cultura no radica solo en la tecnología, sino en su capacidad para redefinir la forma en que concebimos la gestión cultural. Si se implementa de manera responsable, puede ayudar a garantizar que el patrimonio, físico o digital, se conserve íntegro y accesible, al mismo tiempo que amplía las oportunidades de participación y democratiza la toma de decisiones sobre aquello que compartimos como sociedad.

3. Desafíos que enfrentan los países iberoamericanos a la hora de aplicar la tecnología *blockchain*

La adopción de la tecnología *blockchain* en Iberoamérica avanza, pero de manera desigual. Más allá del potencial técnico, todavía existen desafíos que dificultan transformar las experiencias iniciales en soluciones de mayor alcance y sostenibilidad. Entre ellos, se encuentran limitaciones de infraestructura; marcos regulatorios fragmentados o poco desarrollados; carencias en capacidades técnicas, de análisis y de gestión; y una coordinación insuficiente entre el sector público, el privado y la academia.

3.1. Infraestructura limitada

Uno de los principales obstáculos para la adopción de la tecnología *blockchain* a gran escala en la región es la desigualdad en el grado de desarrollo y en el acceso a infraestructura tecnológica. En muchas zonas rurales o de menor desarrollo, la conectividad sigue siendo limitada y los costos asociados a la digitalización resultan elevados. Esto dificulta que las soluciones basadas en *blockchain* puedan implementarse de manera amplia y sostenida, y termina reforzando las diferencias entre sectores urbanos y rurales, o entre poblaciones con distintos niveles de ingreso.

A esta situación se suma que gran parte de los organismos públicos todavía trabaja con sistemas informáticos fragmentados, que carecen de estándares de interoperabilidad. Integrar una tecnología como *blockchain* en estos entornos resulta complejo y, en muchos casos, inviable sin una modernización previa de la infraestructura digital. Sin perjuicio de ello, es importante destacar una serie de iniciativas y desarrollos que buscan acercar la infraestructura *blockchain* a la comunidad, promoviendo su adopción de manera más equitativa y sostenible.

En lo que respecta a España y Portugal, estos dos países iberoamericanos forman parte de la Unión Europea, la cual ha impulsado diversas iniciativas orientadas a fomentar un desarrollo coordinado y armonizado de la tecnología *blockchain* en sus Estados miembros. En este marco, se destaca la Infraestructura Europea de Servicios Blockchain (EBSI, por sus siglas en inglés), desarrollada en 2018 por la Comisión Europea y la Asociación Europea de Blockchain, integrada por los 27 Estados miembros, Noruega y Liechtenstein (European Commission, 2018), cuyo objetivo principal radica en ofrecer servicios públicos digitales basados en *blockchain* que sean seguros, interoperables y de confianza en toda Europa. EBSI ha desplegado una red piloto con más de cuarenta nodos situados en diferentes sitios de Europa para proyectos experimentales, especialmente orientados al intercambio y la verificación de credenciales de ciudadanos y organizaciones en ámbitos como la educación, el aprendizaje permanente y la seguridad social. En este contexto, distintos países europeos comenzaron a desarrollar sus propias infraestructuras nacionales interoperables con EBSI. En el caso de España, esta articulación se materializó con la Infraestructura de Servicios Blockchain de España (ISBE) (Izertis, 2024), una red público-privada que actúa como extensión nacional de EBSI y permite desplegar servicios digitales basados en *blockchain* de forma segura, interoperable y conforme al marco regulatorio europeo. De esta manera, ISBE proporciona la infraestructura técnica necesaria para que administraciones, empresas y universidades puedan desarrollar y conectar sus propias aplicaciones en un entorno común de confianza.

Asimismo, en mayo de 2024, la Comisión Europea adoptó la Decisión de Ejecución (UE) 2024/1432 por la que se creó el Consorcio Europeo de Infraestructuras Digitales para la Asociación Europea de Cadenas de Bloques y la Infraestructura Europea de Cadena de Bloques para los Servicios (EUROPEUM-EDIC), una nueva entidad jurídica creada por un consorcio de nueve Estados miembros, entre los que se encuentra Portugal. Su objetivo consiste en continuar desplegando y ampliando la explotación de la infraestructura EBSI para prestar servicios transfronterizos, particularmente

públicos, a escala de la Unión Europea, con el propósito de reforzar la confianza y la ciberresiliencia de conformidad con la normativa europea.

Por su parte, en lo que respecta al desarrollo de infraestructura en América Latina, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), a través de su laboratorio de innovación BID Lab, ha impulsado el uso de la tecnología *blockchain* en América Latina y el Caribe con el objetivo de fortalecer la identidad digital, mejorar la trazabilidad y fomentar la transparencia en los servicios públicos. En este marco, creó LACChain (Allende López & Cerón, 2021), una alianza regional que provee una infraestructura *blockchain* abierta y con permisos, orientada a facilitar el desarrollo de soluciones interoperables y seguras para gobiernos, empresas y universidades de la región (Pardo *et al.*, 2023).

Otro caso que evidencia cómo la infraestructura y el respaldo institucional pueden marcar la diferencia es el de la incorporación de *blockchain* en los registros notariales de Brasil, a través del sistema e-Notariado, regulado por el Consejo Nacional de Justicia mediante el Provimento nº 149/2023 (Conselho Nacional de Justiça, 2023), que sustituyó al anterior Provimento nº 100/2020 (Conselho Nacional de Justiça, 2020). Esta normativa formaliza la adopción de esta tecnología en el ámbito notarial brasileño y habilita la autenticación digital de documentos notariales, la creación del Centro Nacional de Autenticación Digital y el uso de *blockchain* para garantizar la integridad, la seguridad jurídica y la autenticidad de los actos. La *blockchain* empleada para ello está construida sobre la red Hyperledger Fabric, se denomina Notarchain y funciona como una red privada, en la que cada nodo corresponde obligatoriamente a un notario.

En ella, cada notaría autorizada actúa como nodo de validación: los actos notariales digitales se registran como firmas criptográficas (*hashes*) en la cadena, de modo que cualquier alteración posterior puede ser detectada (Colégio Notarial do Brasil, 2025). Desde su implementación en 2020, los servicios digitales crecieron desde alrededor del 1% hasta alcanzar aproximadamente el 42% del total de los actos notariales en 2024. Este avance, impulsado por el Consejo Nacional de Justicia y el Colegio Notarial de Brasil, demuestra cómo la combinación de una arquitectura técnica robusta y un marco institucional sólido permiten escalar la tecnología y generar confianza social (Colégio Notarial do Brasil, 2024).

Asimismo, el Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), entidad pública dependiente del gobierno federal, que financia proyectos de infraestructura y desarrollo, ha sido pionero en la exploración del uso de *blockchain* para el seguimiento de recursos públicos. A través del proyecto BNDESToken, el banco desarrolló un sistema basado en contratos inteligentes para rastrear la aplicación de fondos en proyectos financiados, garantizando transparencia y trazabilidad en el uso del dinero público (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, 2018). Posteriormente, el BNDES impulsó, junto con el Tribunal de Cuentas da União (TCU), la creación de la Rede Blockchain Brasil, una infraestructura nacional basada en la red Hyperledger Besu destinada a fortalecer la transparencia y la seguridad en la gestión estatal (Tribunal de Contas da União, 2024). La red, que se encuentra actualmente en fase piloto, integra diferentes organismos públicos y se orienta a servir como plataforma común para aplicaciones gubernamentales que requieran trazabilidad y confianza (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT, 2025).

De igual modo, en el ámbito de la administración pública, diversos estudios han comenzado a explorar el potencial de la tecnología *blockchain* para fortalecer la transparencia, la probidad y la eficiencia en la gestión estatal. Se ha señalado su posible aplicación a los contratos administrativos, donde permitiría registrar de forma inmutable cada etapa del proceso, desde la licitación hasta la ejecución, y automatizar ciertas obligaciones mediante contratos inteligentes, reduciendo la discrecionalidad y reforzando la seguridad jurídica (Valter, 2023). Aunque estas propuestas se encuentran aún en el terreno conceptual, reflejan un interés creciente por adaptar esta tecnología al marco administrativo

brasileño, en consonancia con las recomendaciones internacionales sobre el uso de *blockchain* para la transparencia gubernamental (World Economic Forum, 2020). Este proceso coloca a Brasil entre los países latinoamericanos que más activamente están explorando el potencial institucional de esta tecnología.

En síntesis, la disponibilidad de la infraestructura adecuada constituye un requisito indispensable para que la tecnología *blockchain* pueda desplegar todo su potencial. Las experiencias de la Unión Europea, de LaCChain y de países como Brasil demuestran que la combinación de infraestructura técnica sólida y coordinación institucional es esencial para escalar soluciones confiables y sostenibles. En Iberoamérica, avanzar hacia infraestructuras interoperables y abiertas, apoyadas por alianzas público-privadas y la cooperación internacional, permitirá reducir las brechas tecnológicas, favorecer la inclusión digital y fortalecer la confianza institucional, condiciones necesarias para un desarrollo digital más equilibrado y resiliente.

3.2. Falta de marcos regulatorios claros y completos

Otro de los grandes desafíos en la región es la falta de marcos regulatorios claros, específicos y coherentes que acompañen el desarrollo de la tecnología *blockchain*. La mayoría de las normativas existentes se ha concentrado en los criptoactivos, especialmente desde una perspectiva financiera o de prevención del lavado de dinero y del financiamiento del terrorismo, mientras que las aplicaciones no financieras permanecen desatendidas. Esta situación genera incertidumbre jurídica tanto para los desarrolladores como para las instituciones públicas y privadas que buscan implementar soluciones basadas en *blockchain*. En consecuencia, muchos proyectos se limitan a fases piloto o pruebas experimentales y no alcanzan la escala necesaria para consolidarse de forma sostenible.

A nivel regional, mientras algunos países avanzan en marcos legales más definidos, otros mantienen regulaciones fragmentadas, incipientes o directamente inexistentes. Esta heterogeneidad incrementa la incertidumbre para los actores del ecosistema y dificulta la creación de estándares comunes que garanticen la interoperabilidad y la confianza transfronteriza. Frente a este panorama, resulta necesario fortalecer los mecanismos de coordinación regional y promover la convergencia normativa, de modo que los proyectos basados en *blockchain* puedan escalar más allá de las fronteras nacionales sin perder seguridad ni legitimidad.

En definitiva, la tecnología *blockchain* no es un fin en sí mismo, sino un medio para construir confianza institucional y cooperación regional, pilares fundamentales para un desarrollo digital inclusivo, transparente y sostenible. Sin perjuicio de ello, y aunque no sea uno de los objetivos principales de este informe desarrollar en detalle el marco regulatorio vigente, resulta pertinente destacar algunas iniciativas normativas que buscan dotar de previsibilidad al ecosistema *blockchain*, estableciendo las bases para su adopción responsable y sostenible. Las experiencias derivadas de estos avances pueden servir como referencia para futuras acciones en la región.

Una de las primeras regiones en regular a los criptoactivos a nivel global, ha sido la Unión Europea a través del Reglamento MiCA (*Markets in Crypto-Assets*) (European Parliament & Council of the European Union, 2023). Aunque su enfoque principal se centra en los criptoactivos, esta norma aporta previsibilidad y seguridad jurídica al ecosistema en su conjunto, estableciendo estándares comunes en materia de transparencia, custodia y supervisión. A este marco se suman otras normas relevantes, como la normativa europea en materia de prevención del blanqueo de capitales, especialmente la Directiva (UE) 2018/1673, conocida como la Quinta Directiva (AMLD5) (European Parliament & Council of the European Union, 2018) y la aún pendiente Sexta Directiva (AMLD6), que ampliará la tipificación de los delitos de blanqueo y fortalecerá la cooperación transfronteriza.

En el plano nacional, España ha sancionado la Ley 6/2023, de 17 de marzo, de los Mercados de Valores y de los Servicios de Inversión, que refuerza la protección al inversor e incorpora referencias expresas a los criptoactivos y los mecanismos de tokenización en línea con los principios del Reglamento MiCA (España, 2023). En conjunto, estos avances regulatorios e institucionales sitúan a España y Portugal en una posición ventajosa frente a otros países iberoamericanos, donde la ausencia de marcos específicos sigue generando un entorno más fragmentado e incierto para la adopción de la tecnología.

En lo que respecta a América Latina, los avances regulatorios se han concentrado, en una primera etapa, en la supervisión y registro de los Proveedores de Servicios de Activos Virtuales (PSAV), conforme a las recomendaciones del Grupo de Acción Financiera Internacional (GAFI). Este enfoque, centrado en la prevención del lavado de activos y la financiación del terrorismo, ha orientado la agenda normativa regional hacia la identificación, control y transparencia de los intermediarios que operan con criptoactivos. Entre los ejemplos más representativos se destacan México, que ha sido pionero con la Ley para Regular las Instituciones de Tecnología Financiera (Ley Fintech) de 2018, que introdujo la figura de las instituciones de activos virtuales dentro de un marco legal específico (México, 2018), y Brasil, que en 2022 promulgó la Ley N.º 14.478/2022, conocida como Marco Legal de los Criptoactivos, estableciendo las bases para la prestación de servicios con activos virtuales y asignando al Banco Central de Brasil la autoridad de supervisión del sector (Brasil, 2022).

No obstante, como se mencionaba, esta primera ola regulatoria ha estado principalmente dirigida al ámbito financiero y de cumplimiento, dejando en un segundo plano las aplicaciones no financieras de la tecnología *blockchain*. En este contexto, es dable destacar que algunos países han comenzado a avanzar hacia marcos más amplios que reconocen el potencial de la tecnología. Un ejemplo de ello es el caso de Argentina, donde la Comisión Nacional de Valores (CNV) ha incorporado formalmente la tokenización de activos financieros dentro de su marco regulatorio, consolidando un enfoque más integral hacia la innovación basada en *blockchain* y convirtiéndose en una de las primeras autoridades de la región en establecer un marco normativo específico para la tokenización de valores negociables mediante tecnologías de registro distribuido (DLT). Este proceso regulatorio comenzó en abril de 2025, cuando la CNV inició una consulta pública con el objetivo de incorporar la representación digital de valores al marco regulatorio vigente (Comisión Nacional de Valores, 2025a). Posteriormente, se aprobó la Resolución General N.º 1069/2025 (Comisión Nacional de Valores, 2025c), que instauró el primer régimen regulatorio para la tokenización de activos financieros respaldados en activos del mundo real, como fideicomisos financieros y fondos comunes de inversión cerrados.

La norma se implementó dentro de un *sandbox* regulatorio de carácter experimental (un entorno de prueba regulado que permite evaluar el impacto antes de su adopción plena), definiendo la tokenización como una representación digital adicional de valores previamente emitidos en forma tradicional, bajo principios de equivalencia funcional, trazabilidad y seguridad jurídica. En agosto de 2025, la CNV amplió el régimen de tokenización para incluir nuevos instrumentos como acciones, obligaciones negociables y Certificados de Depósito Argentinos (CEDEAR), y extendió la fase experimental hasta agosto de 2026, con el propósito de evaluar el funcionamiento del sistema en un entorno controlado (Comisión Nacional de Valores, 2025d). En octubre de 2025, se aprobó una modificación, que amplía el régimen de tokenización establecido, incorporando la posibilidad de tokenizar bajo los regímenes de oferta pública automática de mediano impacto, emisores frecuentes o emisiones frecuentes de fideicomisos financieros, según corresponda, en relación con los siguientes valores negociables: acciones, obligaciones negociables, valores representativos de deuda, certificados de participación de fideicomisos financieros y cuota-partes de fondos comunes de inversión cerrados de crédito con oferta pública (Comisión Nacional de Valores, 2025b).

Con esta medida, la CNV ha fortalecido el marco regulatorio argentino en materia de tokenización de activos financieros, consolidando la estrategia del organismo de modernizar el mercado de capitales,

facilitar el acceso al financiamiento de manera ágil y simplificar los procedimientos administrativos, garantizando una adecuada protección al inversor e incrementando las opciones de inversión disponibles. De esta manera, Argentina avanza hacia un marco regulatorio moderno, eficaz y transparente, que busca acompañar la innovación financiera con criterios de seguridad y supervisión adecuados. Aunque se trata de un esquema aún en fase inicial —y orientado al sector financiero—, esta normativa marca un precedente pionero para el desarrollo de las finanzas digitales en la región.

En conclusión, la consolidación de marcos regulatorios resulta esencial para que la tecnología *blockchain* pueda desarrollarse de manera sostenible. La ausencia de reglas específicas limita la seguridad jurídica y desalienta la inversión y la innovación, mientras que los modelos normativos más avanzados, como los de la Unión Europea o las recientes experiencias de Brasil y Argentina, evidencian que la regulación puede actuar como motor, y no como obstáculo, del progreso tecnológico. Avanzar hacia marcos flexibles, coordinados y basados en la experimentación supervisada, permitirá a los países iberoamericanos aprovechar el potencial de la tecnología *blockchain* con criterios de transparencia, integridad y confianza institucional.

3.3. Déficit de capacidades institucionales y talento especializado

Otro desafío fundamental para la adopción de la tecnología *blockchain* radica en la limitada capacidad institucional para comprender, supervisar y aplicar esta tecnología en ámbitos críticos como el sistema educativo, la gestión cultural y el ámbito científico. Esta limitación se manifiesta también en la escasez de talento especializado en la región, donde la formación en *blockchain* y activos digitales aún no alcanza la escala necesaria para atender la demanda creciente.

El despliegue efectivo de soluciones *blockchain* requiere equipos con formación integral, capaces de comprender tanto los fundamentos técnicos como sus implicancias legales, éticas y operativas. No obstante, en gran parte de Iberoamérica existe una escasez de profesionales especializados en tecnologías descentralizadas, que limita la capacidad de las instituciones para liderar, supervisar o incluso evaluar de manera adecuada los proyectos en este ámbito. Además, la innovación tiende a quedar concentrada en los grandes centros urbanos, dejando atrás a instituciones que no tienen acceso a la misma infraestructura ni a programas de capacitación. Esta desigualdad no solo ralentiza la adopción de *blockchain*, sino que también profundiza la brecha entre actores con acceso a conocimiento especializado y aquellos con menor acceso al mismo. La inversión en formación especializada, tanto en el sector público como en el privado, será un componente fundamental para aquellos organismos que busquen una transformación digital que quiera aprovechar el potencial de la tecnología *blockchain* en la región.

Retomando el ejemplo de Brasil, la integración de *blockchain* en los registros notariales no solo requirió infraestructura técnica, sino también la capacitación de profesionales y funcionarios para operar en este nuevo entorno digital. Esto refuerza la idea de que el despliegue de proyectos exitosos depende tanto del talento humano como de la tecnología. Sin formación adecuada, la innovación corre el riesgo de quedar limitada a pilotos sin continuidad.

3.4. Escasa articulación entre el sector público, el sector privado y la academia

En último lugar, la falta de coordinación entre gobiernos, empresas y universidades constituye una de las principales barreras para la adopción de la tecnología *blockchain* en Iberoamérica. Si bien cada actor avanza con sus propias iniciativas, la ausencia de espacios de diálogo y cooperación dificulta la creación de estándares comunes, el impulso de proyectos conjuntos y el diseño de soluciones que respondan de manera efectiva a las necesidades sociales.

En la práctica, buena parte de los desarrollos proviene del sector privado, que suele liderar la innovación tecnológica. Sin embargo, cuando estos avances no cuentan con un marco institucional que los acompañe ni con mecanismos de evaluación claros, se generan dos problemas: por un lado, las soluciones quedan desconectadas de las políticas públicas; y por otro, la ciudadanía no siempre confía en su legitimidad ni en sus beneficios.

Para superar esta fragmentación, no alcanza con iniciativas aisladas: es esencial generar espacios de colaboración estables, donde gobiernos, empresas y universidades trabajen de manera conjunta. Los acuerdos público-privados pueden aportar recursos y visión estratégica; los laboratorios de innovación regulatoria (*sandboxes*) permiten probar en un entorno controlado proyectos que, de otra forma, no podrían implementarse por falta de un marco legal; y las plataformas de investigación aplicada favorecen la conexión entre la teoría y la práctica, acercando soluciones académicas a problemas reales. Estos mecanismos no solo sirven para validar casos de uso en condiciones concretas, sino también para identificar riesgos regulatorios y técnicos desde el inicio, construir estándares compartidos y, sobre todo, generar confianza entre los distintos actores. Sin esta cooperación, las iniciativas corren el riesgo de quedar limitadas a proyectos piloto sin capacidad de escalar ni de integrarse en políticas públicas de largo plazo. En definitiva, mientras no se logre una articulación más estrecha entre gobiernos, empresas y universidades, será difícil consolidar ecosistemas colaborativos capaces de sostener la innovación en el tiempo. Sin un esfuerzo coordinado a nivel regional, las experiencias exitosas podrían dispersarse y la región perdería la oportunidad de construir una estrategia común en torno al uso de la tecnología *blockchain*.

En este sentido, LACChain, la iniciativa impulsada por el BID Lab que busca proveer una infraestructura *blockchain* común para América Latina y el Caribe (LACNet, s/f), se presenta como una red híbrida (pública, con permisos), abierta a gobiernos, empresas y universidades que quieran experimentar o desplegar servicios digitales en un entorno regulado y técnicamente interoperable. Su objetivo es reducir costos de entrada, evitar que cada país deba construir su propia infraestructura desde cero y, al mismo tiempo, fomentar estándares compartidos para toda la región. Aunque todavía enfrenta limitaciones en términos de cobertura territorial y adopción por parte de usuarios finales, la experiencia de LACChain muestra que es posible generar un marco colaborativo regional que sienta bases comunes y favorezca la confianza en la tecnología.

3.5. Las *blockchain* como oportunidad

La tecnología *blockchain* representa una oportunidad significativa para que los países iberoamericanos avancen hacia modelos más transparentes, eficientes e inclusivos en sectores clave como la educación, la gestión pública, la cultura, la ciencia o las finanzas. Para que ese potencial se convierta en resultados reales, es necesario fortalecer las instituciones, desarrollar marcos regulatorios claros y consistentes, formar profesionales capacitados y, sobre todo, construir una visión estratégica compartida que articule el trabajo de los distintos actores en una misma dirección.

Superar las limitaciones actuales, desde la infraestructura tecnológica y la regulación hasta la coordinación entre actores, no solo permitirá aprovechar mejor las ventajas de esta tecnología, sino también posicionar a la región como un actor relevante en el debate global, con una mirada autónoma y adaptada a sus particularidades. Reconocer y enfrentar estos desafíos es el primer paso para diseñar políticas públicas y estrategias regionales que impulsen una adopción responsable e inclusiva.

Consideraciones finales

La tecnología *blockchain*, concebida originalmente en el ámbito financiero para registrar transacciones de manera segura y sin intermediarios, ha demostrado con el tiempo un potencial mucho más amplio. Su capacidad para garantizar trazabilidad, integridad y transparencia la ha llevado a expandirse hacia sectores como la educación, la ciencia o la cultura, donde la confianza y la verificación de la información son elementos esenciales.

A lo largo del informe se han presentado algunos ejemplos de cómo esta tecnología puede contribuir a generar valor más allá de las finanzas. En la educación, puede facilitar la validación de títulos y credenciales digitales; en la ciencia, puede mejorar la transparencia y la trazabilidad de los procesos de investigación; y en la cultura, puede ofrecer nuevas formas de preservar y autenticar el patrimonio, así como de gestionar derechos de autor. Estos casos ilustran cómo esta tecnología tiene el potencial de fortalecer la confianza, la eficiencia y la cooperación entre actores en distintos ámbitos.

No obstante, su adopción en Iberoamérica todavía enfrenta ciertos desafíos que limitan su expansión. Persisten diferencias en el acceso a infraestructura digital, la falta de marcos regulatorios específicos y la escasez de formación técnica especializada, junto con la necesidad de una mayor coordinación entre el sector público, el privado y la academia. Superar estos aspectos no requiere solamente innovación tecnológica, sino también políticas sostenidas, inversión en capacidades y cooperación regional. Al mismo tiempo, es importante subrayar que la tecnología *blockchain* no es la respuesta a todos los problemas ni todas las soluciones tecnológicas necesitan basarse en ella. Su aplicación debe evaluarse en función de las necesidades específicas de cada caso y del valor que pueda aportar en términos de transparencia, eficiencia y resguardo de la información.

En definitiva, la tecnología *blockchain* representa una oportunidad para mejorar la forma en que gestionamos, compartimos y validamos información. Si bien su potencial ya está ampliamente reconocido, su adopción dependerá de la capacidad de cada país para integrarla con criterio, fortaleciendo sus instituciones, la cooperación y un marco regulatorio que acompañe ese proceso. Con un enfoque estratégico y colaborativo, esta tecnología puede convertirse en una herramienta valiosa para impulsar innovaciones que fortalezcan la confianza y la transparencia, y contribuyan al desarrollo sostenible de la región.

Bibliografía

Allende López, M. & Cerón, S. (2021). LACChain ID Framework: A Set of Recommendations for Blockchain-Based Interoperable, Privacy-Preserving, Regulatory Compliant, Secure, and Standardized Digital Identifiers, Credentials, and Wallets. IDB Publications. DOI: <https://doi.org/10.18235/0003746>.

Antonopoulos, A. M. (2017). Mastering Bitcoin: Programming the Open Blockchain. Sebastopol: O'Reilly Media.

Attaran, M. & Gunasekaran, A. (2019). Applications of blockchain technology in business: Challenges and opportunities. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27798-7>.

Auth0 (2025). February 2025 Updates: What's New in Auth0. Auth0, 3 de marzo. Recuperado de: <https://auth0.com/blog/february-2025-updates-whats-new-in-auth0/>.

Back, A. (2002). Hashcash – A denial of service counter-measure. Recuperado de: <http://www.hashcash.org/papers/hashcash.pdf>

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2018). Consulta pública sobre componentes de blockchain para o projeto BNDESToken. Recuperado de: https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_en/conteudos/noticia/BNDES-launches-public-consultation-in-search-of-blockchain-components-for-BNDESToken.

Bartoletti, M. & Pompianu, L. (2017). An analysis of Bitcoin OP_RETURN metadata. arXiv. Recuperado de: <https://arxiv.org/abs/1702.01024>.

Bayer, D., Haber, S. & Stornetta, W. S. (1993). Improving the efficiency and reliability of digital time-stamping. En R. Capocelli, A. Santis & U. Vaccaro (Eds.), Sequences II: Methods in Communication, Security, and Computer Science (329-334). Springer. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9323-8_24.

Berryhill, J., Bourgerly, T. & Hanson, A. (2018). Blockchains Unchained: Blockchain Technology and its Use in the Public Sector. OECD Working Papers on Public Governance, (28). París: OECD Publishing.

Brasil (2022). Ley nº 14.478. Dispõe sobre diretrizes para prestação de serviços de ativos virtuais e para a regulação das prestadoras desses serviços. Diário Oficial da União, 21 de diciembre. Recuperado de: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14478.htm.

Buterin, V. (2014). Ethereum white paper: A next-generation smart contract and decentralized application platform. Recuperado de: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>.

Buterin, V. (2021). Why sharding is great: Demystifying the technical properties. Blog personal, 7 de abril. Recuperado de: <https://vitalik.eth.limo/general/2021/04/07/sharding.html>.

Chaum, D. (1982). Blind signatures for untraceable payments. En Advances in Cryptology: Proceedings of CRYPTO '82 (199-203). Springer-Verlag. Recuperado de: <https://iacr.org/cryptodb/data/paper.php?pubkey=1101>.

Colégio Notarial do Brasil (2024). Cartórios “onchain”: Blockchain já é responsável por registrar 40% de todas as notas dos cartórios do Brasil. Notariado, 20 de septiembre. Recuperado de:

<https://www.notariado.org.br/cartorios-onchain-blokchain-ja-e-responsavel-por-registrar-40-de-todas-as-notas-dos-cartorios-do-brasil/>.

Colégio Notarial do Brasil (2025). Notarchain – Ativação de nós. Suporte Notariado, 6 de marzo. <https://suporte.notariado.org.br/support/solutions/articles/43000592251-notarchain-ativac%C3%A3o-de-n%C3%B3s>.

Collomosse, J., Bui, T., Brown, A. W., Sheridan, J., Green, A., Bell, M., Fawcett, J., Higgins, J. & Thereaux, O. (2018). ARCHANGEL: Trusted archives of digital public documents. arXiv. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.08342>.

Comisión Nacional de Valores (2025a). R.G. 1060/2025. Elaboración Participativa de Normas. Aplicación. Boletín Oficial de la República Argentina, 11 de abril. Recuperado de: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/22646/2025>.

Comisión Nacional de Valores (2025b). R.G. N.º 1087: Representación digital de valores negociables. Boletín Oficial de la República Argentina, 16 de abril. Recuperado de: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/302215/20250416>.

Comisión Nacional de Valores. (2025c,). R.G. 1069/2025. Representación digital de valores negociables mediante tecnologías de registro distribuido. Boletín Oficial de la República Argentina, 13 de junio.

Comisión Nacional de Valores. (2025d). R.G. 1081/2025. Normas (N.T. 2013 y mod.). Boletín Oficial de la República Argentina, 21 de agosto.

Conselho Nacional de Justiça (2020). Provimento n.º 100, de 26 de maio de 2020: Dispõe sobre a prática de atos notariais eletrônicos utilizando o e-Notariado, instituído pelo Provimento nº 47, de 18 de junho de 2015. Revogado pelo Provimento n.º 149/2023. Conselho Nacional de Justiça, 26 de mayo. Recuperado de: <https://atos.cnj.jus.br/atos/detalhar/3334>.

Conselho Nacional de Justiça (2023). Provimento n.º 149, de 30 de agosto de 2023: Dispõe sobre a prática de atos notariais eletrônicos por meio do e-Notariado e dá outras providências. Conselho Nacional de Justiça, 30 de agosto. Recuperado de: <https://atos.cnj.jus.br/atos/detalhar/5243>.

Dwork, C. & Naor, M. (1992). Pricing via processing or combatting junk mail. En Advances in Cryptology – CRYPTO’ 92 (139–147). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-48071-4_10.

El Koshiry, A., Abdelsalam, M. & Zhou, Y. (2023). Unlocking the power of blockchain in education. Blockchain: Research and Applications, 4(1), 100165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcr.2023.100165>.

España. (2023). Ley 6/2023, de 17 de marzo, de los Mercados de Valores y de los Servicios de Inversión. Boletín Oficial del Estado, (65), de 17 de marzo. Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/l/2023/03/17/6>.

European Commission (2018). European Blockchain Partnership and European Blockchain Services Infrastructure (EBSI). European Commission, Digital Strategy. Recuperado de: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/ebsi>.

European Commission (2019). Blockchain for digital government: An assessment of pioneering implementations in public services. Publications Office of the European Union. Recuperado de:

<https://interoperable-europe.ec.europa.eu/sites/default/files/document/2019-04/JRC115049%20blockchain%20for%20digital%20government.pdf>.

European Parliament & Council of the European Union (2018). Directiva (UE) 2018/1673 del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2018 relativa a la lucha contra el blanqueo de capitales mediante el Derecho penal. Diario Oficial de la Unión Europea, L 284, 12 de noviembre. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/1673>.

European Parliament & Council of the European Union (2023). Regulation (EU) 2023/1114 of the European Parliament and of the Council of 31 May 2023 on Markets in Crypto-Assets (MiCA). Official Journal of the European Union, L 150. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1114>.

Gangwal, A., Gangavalli, H. R. & Thirupathi, A. (2022). A survey of layer-two blockchain protocols. arXiv. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.08032>.

Haber, S. & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. Journal of Cryptology, 3(2), 99–111. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00196791>.

Hughes, E. (1993). A Cypherpunk's Manifesto. Activismo, 9 de marzo. Recuperado de: <https://www.activism.net/cypherpunk/manifesto.html>.

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (2025). Ibict passa a integrar a Rede Blockchain Brasil e conecta nós à infraestrutura nacional. Recuperado de: <https://www.gov.br/ibict/pt-br/central-de-conteudos/noticias/2025/agosto/ibict-passa-a-integrar-a-rede-blockchain-brasil-e-conecta-nos-a-infraestrutura-nacional>.

Izertis (2024). ISBE: la infraestructura de servicios blockchain de España. Recuperado de: <https://www.izertis.com/es/-/isbe-la-infraestructura-de-servicios-blockchain-de-espana>.

Kapengut, E., & Mizrach, B. (2023). An Event Study of the Ethereum Transition to Proof-of-Stake. Commodities, 2(2), 96-110. DOI: <https://doi.org/10.3390/commodities2020006>.

LACNet. (s. f.). LACNet overview. LACNet. Recuperado de: <https://lacnet.com/lacnet-eng/>.

Lo Duca, A., Bacciu, C. & Marchetti, A. (2020). The Use of Blockchain for Digital Archives: A comparison between Ethereum and Hyperledger (AIUCD 2019). Umanistica Digitale, 4(8). DOI: <https://doi.org/10.6092/issn.2532-8816/9959>.

México (2018). Ley para Regular las Instituciones de Tecnología Financiera. Diario Oficial de la Federación, 9 de marzo. Recuperado de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LRITF.pdf>.

MIT Media Lab & Learning Machine (2016). Blockcerts – Open standard for blockchain credentials. Recuperado de: <https://www.blockcerts.org>.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Recuperado de: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.

Pardo, A., Latorre, L., Allende, M., Leal Batista, A., Gutierrez, M. & Puerto, F. (2023, septiembre). Tech Report: Blockchain. Banco Interamericano de Desarrollo. DOI: <https://doi.org/10.18235/0005109>.

PayPal (1999). PayPal: Digital payments platform. Recuperado de: <https://www.paypal.com/>.

Perera, S., Nanayakkara, S., Rodrigo, M. N. N., Senaratne, S. & Weinand, R. (2020). Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry? *Journal of Industrial Information Integration*, 17, 100125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100125>.

Poon, J., & Dryja, T. (2016). The Bitcoin Lightning Network: Scalable off-chain instant payments (Versión 0.5.9.2) [White paper]. Recuperado de: <https://lightning.network/lightning-network-paper.pdf>.

Revelator Ltd. (2023). Revelator launches Original Works on Flow blockchain to automate royalty distribution. Revelator, 15 de mayo. Recuperado de: <https://www.revelator.com/news/original-works-flow-blockchain>.

Szabo, N. (1996). Smart contracts: Building blocks for digital markets. *Extropy Journal*, (16). Recuperado de: https://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart_contracts_2.html.

Szabo, N. (2005). Bit gold. Unenumerated. Recuperado de: <https://unenumerated.blogspot.com/2005/12/bit-gold.html>.

Tribunal de Contas da União (2024). Rede Blockchain Brasil inicia fase piloto do projeto. Recuperado de: <https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/rede-blockchain-brasil-inicia-fase-piloto-do-projeto.htm>.

University of Nicosia (2015). Issuing academic certificates on the Bitcoin blockchain. Recuperado de: <https://www.unic.ac.cy/blockchain/>.

Valter, A. (2023). Blockchain e contratos administrativos: desafios e oportunidades para a administração pública brasileira. *Revista de Direito e Novas Tecnologias*, 5(2), 45–62. DOI: <https://doi.org/10.12957/rqi.2021.48956>.

van Bokkem, D., Hageman, R., Koning, G., Nguyen, L. & Zarin, N. (2019). Self-sovereign identity solutions: The necessity of blockchain technology. Delft University of Technology. arXiv. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1904.12816>.

World Economic Forum (2020). Exploring blockchain technology for government transparency: Global insights and applications. World Economic Forum. Recuperado de: <https://www.weforum.org/reports>.

Xu, X., Weber, I. & Staples, M. (2019). *Architecture for blockchain applications*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03035-3>.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X. & Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. En *Proceedings of the 2017 IEEE 6th International Congress on Big Data* (557-564). DOI: <https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85>.

O E I

ISSN: 2415-1785

