

BLOCKCHAIN PARA LA SOSTENIBILIDAD GROUND ZERO

INFORME B4S — DICIEMBRE 2022



Autores

Máximo Mazzoco
Marcos M. Orteu
Paz Álvarez
Eugenia Navarro Cafferata
Francisco Tuñez

Edición

Roxana Duer

Diseño y maquetación

Latinlingua
*Radically supportive translation services
for purpose-driven businesses.*

Tatiana Tabak

Colaboradores

Javier Goldschtein
María Eugenia DiPaola

Las opiniones expresadas en esta publicación pertenecen exclusivamente a sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de las Naciones Unidas, del PNUD ni de sus Estados Miembros.

ÍNDICE

Prólogo	04
B4S: Ground Zero	05
Palabras iniciales	06
Resumen ejecutivo	07
Introducción	11
Sección 1. ¿Qué es blockchain?	14
Introducción a blockchain	15
Blockchain (descentralizada) vs. bases de datos (centralizada)	15
Origen	16
Funcionamiento de la blockchain	17
Blockchain vs. criptomonedas	21
Sección 2. Usos en ambiente, sociedad y gobernanza	24
Eje ambiente: transparencia, coordinación y seguridad al servicio del ambiente	25
Eje social: acceso digital y libertad financiera	31
Eje gobernanza: el valor de la descentralización	37
Sección 3. Impacto ambiental de blockchain	43
Eficiencia energética del blockchain	45
Criptomonedas	45
Origen de la energía	48
Emisiones de carbono equivalente	50
Criptomonedas vs. medios de pagos centralizados	51
Alternativas a PoW	53
Energías renovables: ¿una alternativa realista?	54
Residuos electrónicos	55
Conclusión	56
Reflexiones finales: estamos ante un nuevo principio	57

PRÓLOGO

El avance de la digitalización continúa transformando las economías y las sociedades de todo el mundo. Esto nos presenta una oportunidad única de aprovechar el potencial de las tecnologías disruptivas para acelerar nuestras ambiciones colectivas de sostenibilidad y nuestra transición hacia una economía más inclusiva y sostenible en un planeta saludable. Sin lugar a dudas, las innovaciones digitales pueden ayudarnos a abordar muchos de los desafíos más acuciantes, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la seguridad alimentaria, la pobreza y la desigualdad. Pero los resultados no serán inmediatos: debemos trabajar en su diseño y en su concreción a fin de capitalizar los beneficios de la digitalización.

A lo largo de los últimos años, hemos visto un gran interés y un alto grado de inversión en Web3 y en tecnologías blockchain, impulsados por una expectativa de transformación en todos los sectores de la economía real. La expectativa en torno a blockchain, y a otras tecnologías de contabilidad distribuida, es que cambien radicalmente la forma en la que el dinero funciona y se mueve alrededor del mundo; la manera en la que los datos de sostenibilidad son relevados en las cadenas de suministro de alimentos; la forma en la que las personas manejan su identidad; la manera en la que se tokenizan los servicios ecosistémicos que provienen del capital natural y de otros activos, y la forma en la que se lleva a cabo la contabilidad de carbono con transparencia, solo por nombrar algunos ejemplos.

En este sentido, podemos decir que las aplicaciones de blockchain ofrecerán nuevas oportunidades para promover el desarrollo sostenible, lo que contribuirá a alcanzar muchos ODS, tales como el ODS1 (pobreza 0), el ODS 5 (igualdad de género), el ODS 8 (trabajo decente y crecimiento económico), el ODS 10 (reducción de las desigualdades), el ODS 11 (comunidades y ciudades sostenibles), el ODS 14 (vida submarina), el ODS 15 (biodiversidad terrestre) y el ODS 17 (alianzas para el desarrollo sostenible).

Sin embargo, como se señaló antes, estos resultados solo se materializarán si realizamos un esfuerzo deliberado para orientar la tecnología blockchain en esa dirección. En el estado de situación actual, son varios los temas que deben ser abordados para poder aprovechar el potencial de esta tecnología: desde las brechas regulatorias y el consumo de energía de los protocolos de blockchain hasta un mayor énfasis en alinear los modelos de negocio con la sostenibilidad. Esto va a requerir que hagamos un esfuerzo colectivo, que logremos el compromiso de múltiples actores y que alimentemos a una creciente comunidad de prácticas de sostenibilidad que aún se encuentra en vías de consolidación.

Este informe es el primer paso en esa dirección, ya que aporta una visión general de blockchain, analiza algunas tendencias emergentes y ejemplos vinculados a la sostenibilidad, y también aborda varios de los temas que requieren mayor atención. En ese sentido, se espera que pueda traccionar conversaciones más amplias y debates positivos acerca del futuro de esta tecnología para que juntos podamos darle forma en pos de un futuro mejor para todos.

Aiaze Mitha

Líder global, finanzas digitales para los ODS, PNUD

B4S: GROUND ZERO

El Principio Precautorio del Derecho Ambiental Internacional estipula que, cuando los riesgos socioambientales de las actividades humanas son inciertos, la inacción regulatoria ante los mismos es injustificada. Por eso, más allá del increíble potencial de descentralización, transparencia, trazabilidad y armado de comunidad que ofrece el universo blockchain —el cual nos entusiasma, nos motiva y nos tienta—, es necesario preguntarnos: ¿debemos promover la adopción global de esta tecnología?

Si la respuesta es “sí”, queremos saber el porqué. Si es “no”, también. Si es “no sé”, ¿cuál es el costo-beneficio de seguir a ciegas? ¿Cuánto nos cuesta, en términos ecosistémicos, extraer, fabricar, utilizar y desechar los recursos materiales y energéticos que los productos y servicios basados en blockchain necesitan? ¿Podemos darnos el lujo de insertar nuevas tecnologías de manera masiva en la sociedad sin evaluar previamente su impacto ambiental, económico y social? ¿Cuáles serán las consecuencias?

En este sentido, agradezco y felicito a este equipo interdisciplinario de investigación por estudiar centenares de fuentes y trabajar de manera paciente, colaborativa y respetuosa a fin de elaborar la primera entrega del informe *Blockchain para la sostenibilidad: Ground Zero*, un material gratuito y de uso libre que nos invita a seguir dialogando.

Desde ya, muchas gracias por leernos.

Máximo Mazzocco

Fundador Eco House Global

PALABRAS INICIALES

El mundo está cambiando. Las sociedades van actualizando sus dinámicas sociales y financieras al punto que, en unos pocos años, será difícil recordar cómo funcionaban las cosas antes. Blockchain y crypto se anclan en los conceptos de transparencia, eficiencia y confianza, pero no aplicados a las personas solas, sino con la ayuda de la tecnología.

Estamos gestando una sociedad completamente nueva. Y esta nueva sociedad no completaría su transformación sin los emprendedores de impacto social y ambiental timoneando el cambio.

Es solo cuestión de tiempo para que las personas comiencen a exigirles masivamente a las empresas de productos y servicios que generen un impacto positivo en sus comunidades y en el ambiente. Las nuevas generaciones no solo demandan transparencia, también esperan que haya un propósito claro que vaya más allá de la generación de renta e incluya tener un impacto positivo en el mundo.

Imaginemos un futuro en donde las donaciones y el impacto están incluidos en los protocolos y en las transacciones. Imaginemos una vida en la que cada transacción que realizamos, en lo que sea que hagamos, genere un impacto efectivo y positivo en la vida de los demás y en nuestra querida Tierra.

Ese mundo no está tan lejos. A decir verdad, está muy cerca. Y llegó el momento de hacerlo realidad.

Borja Martel

Cofundador de Lemon Cash

RESUMEN EJECUTIVO

RESUMEN EJECUTIVO

- En un escenario global crítico, con grandes desafíos ambientales, sociales y de gobernanza, blockchain podría contribuir a su abordaje con soluciones innovadoras, o por el contrario, ser parte del mismo problema y atender contra el ambiente.
- Por un lado, existe una variedad de aplicaciones y usos de esta tecnología que muestran su impacto en la actualidad y su potencial transformador (ver sección 2 [Usos en ambiente, sociedad y gobernanza](#)).
- Por el otro, la utilización de la prueba de trabajo (proof of work, PoW) como mecanismo de consenso en blockchain públicos, tales como Bitcoin, genera un importante impacto ambiental (ver sección 3 [Impacto ambiental de blockchain](#)).
- Con este informe buscamos que la activa y emprendedora comunidad blockchain continúe trabajando para reducir el impacto ambiental de esta tecnología e impulse aplicaciones que colaboren en la lucha contra la crisis climática y ecológica. A su vez, que la comunidad ambiental descubra blockchain como una herramienta que les permita alcanzar sus objetivos y potenciar su labor.

Funcionamiento de blockchain

- Tradicionalmente la información se registra y almacena en bases de datos centralizadas, administradas y controladas por un intermediario, que valida y comunica la información a las partes interesadas. Esta posición, le otorga al intermediario una cuota importante de poder sobre el sistema y la posibilidad de cobrar importantes comisiones por sus servicios.
- Blockchain es una nueva tecnología que permite registrar, almacenar y administrar información de forma tal que esta sea inmutable, transparente y descentralizada (ver Sección 1 [¿Qué es blockchain?](#)), al combinar de forma novedosa tecnologías ampliamente utilizadas en otros campos: criptografía (hashes, firmas digitales, llaves públicas-privadas), ciencias de la computación (listados enlazados, redes distribuidas), y contabilidad/finanzas (libros mayores).
- En sistemas abiertos y masivos, se requiere un proceso para garantizar la validez de la información registrada y la seguridad del sistema en general. Este proceso suele llamarse mecanismo de consenso, siendo la prueba de trabajo (*proof of work, PoW*) y la prueba de participación (*proof of stake, PoS*) los más conocidos y utilizados.
- La prueba de trabajo implica que el usuario que registra un nuevo bloque resuelva un acertijo criptográfico complejo, para lo cual requiere un importante poder computacional (costoso en equipamiento y consumo de energía).
- Con la prueba de participación, los interesados en validar nuevos bloques deben primero invertir/congelar parte de sus activos digitales asociados a una blockchain para que luego se les asigne la posibilidad de validar un bloque.
- En ambos mecanismos de consenso, el concepto es el mismo: el usuario que desee validar un bloque tiene que incurrir en un importante costo para hacerlo (sea computacional o financiero), lo cual desincentiva y vuelve casi imposible que un usuario realice comportamientos nocivos o tome el control del sistema.

Aplicaciones sociales, ambientales y de gobernanza de la blockchain

- En la actualidad encontramos una variedad de aplicaciones blockchain que conllevan importantes impactos ambientales, sociales y de gobernanza. Sin embargo, existen múltiples segmentos donde se cree que, de aplicarse esta tecnología, podría haber un impacto positivo significativo. Cabe destacar que blockchain tiene menos de 15 años y aún se encuentra en un proceso continuo de desarrollo y evolución.
- En materia de ambiente, se estima que una de las aplicaciones más promisorias de blockchain será garantizar la trazabilidad y transparencia de las cadenas de suministros, permitiendo a su vez, certificar productos y servicios bajo una variedad de estándares productivos y ambientales (caso Open Vino). De igual manera, puede utilizarse en procesos específicos de control y monitoreo ambiental (caso Plastic Bank, y cooperaciones público-privadas). Por último, el aporte de blockchain en el segmento de créditos de carbono, ofreciendo confianza y transparencia augura un futuro más que prometedor (caso Treefy y Solar Coin).
- Un buen ejemplo del impacto social de blockchain es su contribución significativa a la inclusión financiera, facilitando el acceso a servicios financieros como medios de pago, créditos, seguros y transferencias internacionales, particularmente remesas (ver los casos Lemon, OpenIDL, y AlipayHK).
- De la misma forma, aplicaciones de blockchain como los contratos inteligentes (smart contracts) y las organizaciones autónomas descentralizadas (DAOs por sus siglas en inglés) ofrecen nuevas alternativas de coordinación y gobernanza, particularmente en ecosistemas digitales. A su vez, los Estados nación y organismos internacionales están empezando a implementar blockchain para mejorar la transparencia y seguridad de sus sistemas (ver los casos de Estonia, Chile y Argentina).

Impacto ambiental de blockchain

- En términos de eficiencia energética y computacional, podría decirse que blockchain es levemente más ineficiente que los sistemas centralizados, aunque por otra parte ofrece importantes ventajas en materia de seguridad y descentralización. La elección de la tecnología adecuada dependerá del problema a resolverse.
- Sin embargo, en sistemas de blockchain públicos que utilizan la prueba de trabajo como mecanismo de consenso, tales como Bitcoin, los niveles de consumo energéticos son sideralmente más elevados, implicando un enorme daño ambiental, dado que más del 60% de la energía consumida por estos sistemas proviene de fuentes no renovables.
- Por ejemplo, se estima que la red Bitcoin consumió 104 TWh durante el 2021, un nivel de consumo energético similar al de Kazajistán, ubicándose en el puesto N° 34 cuando se compara su consumo energético con el de los distintos países del mundo.

- Debido a la utilización de fuentes de energía no renovables, se estiman emisiones por 56,3 MtCO₂e durante el 2021 para la red Bitcoin, similares a las emisiones de Grecia y el equivalente al 0,19% de las emisiones globales totales.
- A su vez, la adopción de Bitcoin sigue siendo reducida comparada con la de otros medios de pagos tradicionales, lo que conlleva un alto nivel de consumo energético y emisiones por transacción realizada. Se estima que una transacción realizada por Bitcoin consume 2.138,78 KWh y genera 1.192,92 kg CO₂, mientras que 100.000 transacciones procesadas por una tarjeta de crédito consumen 148,63 KWh y generan 45,12 kg CO₂.
- Bitcoin en particular, y todas las criptomonedas que utilizan la prueba de trabajo, no solo consumen mucha energía, sino que requieren equipos especializados para resolver los acertijos criptográficos más eficientemente generando residuos electrónicos estimados en 30,7 toneladas métricas anuales, o 272g de residuos electrónicos por transacción.
- Como dijo Bankless (referente de la comunidad blockchain), la solución al problema energético de la prueba de trabajo, es apagar la prueba de trabajo. Este es el camino que tomó la segunda criptomoneda más importante, Ethereum, que en septiembre del 2022 migró exitosamente de la prueba de trabajo hacia la prueba de participación, lo que redujo en un 99,95% su consumo energético.
- Más allá de estas dificultades y otras que pudieran surgir, no hay dudas de que blockchain es una tecnología que tendrá un profundo efecto en el mundo digital, y por ende, en nuestra realidad material.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En un contexto mundial acuciante, con una profunda crisis climática y ecológica, cada día resulta más necesario aportar soluciones concretas y sostenibles que ayuden a encauzar políticas de conservación y regeneración del ambiente.

Con características como la descentralización, transparencia, trazabilidad, inmutabilidad, confiabilidad y seguridad, blockchain se está consagrando como una de las tecnologías más disruptivas y promisorias de la actualidad, con un impacto tanto real como potencial sobre todas las actividades e industrias.

Por ello, nos preguntamos si, en un escenario global crítico, una tecnología como blockchain podría contribuir a solucionar los desafíos existenciales que enfrenta la humanidad en la Tierra o si por el contrario forma parte del mismo problema y atenta también contra el ambiente. Somos conscientes de la dificultad de contestar este complejo interrogante en un entorno de incertidumbre, sumado a que dicha tecnología, en su versión actual, tiene menos de 15 años y todavía se encuentra en un proceso continuo de desarrollo y evolución.

Sin embargo, ya existen numerosas aplicaciones, a escala global y/o local, que nos permiten estudiar, analizar y empezar a vislumbrar su potencial transformador, así como sus posibles limitaciones y desventajas, teniendo en cuenta que, con el paso del tiempo y su uso concreto, la situación actual podría cambiar.

En la Sección 1 [¿Qué es blockchain?](#) explicamos cómo funciona la tecnología y sus ventajas con respecto a los sistemas centralizados preexistentes, ya que blockchain permite registrar, almacenar y administrar información de forma tal que esta sea inmutable, transparente y descentralizada.

Esta, como cualquier otra tecnología, no es positiva ni negativa en sí misma, depende de cómo es aplicada y de qué usos le dan los seres humanos. En este sentido, blockchain puede ser utilizada de forma muy amplia, tanto por actores privados como públicos —ya sean gobiernos, emprendimientos-empresas, organismos internacionales u organizaciones sin fines de lucro— que busquen aprovechar las ventajas de esta tecnología en pos de un mejor ambiente y una mejor sociedad. En la Sección 2 [Usos en ambiente, sociedad y gobernanza](#) de blockchain, ahondamos en dicha temática con el objeto de esclarecer el impacto de esta tecnología sobre estos tres pilares fundamentales de las sociedades modernas.

Finalmente, y siendo conscientes de que toda actividad económica tiene un efecto sobre el ambiente que habitamos, en la Sección 3 [Impacto ambiental de blockchain](#), analizamos, sobre la base de la información disponible, cómo sus aplicaciones impactan en la naturaleza.

Tras este detallado estudio, podemos afirmar que la tecnología blockchain tiene un enorme potencial transformador en prácticamente todos los sectores de la actividad humana y pensamos que en el futuro, en la medida que esta tecnología avance y aumente la utilización de fuentes renovables de energía, sus beneficios superarán ampliamente los costos ambientales actuales.

Las blockchain basadas en el sistema de consenso de prueba de trabajo, como es el caso de Bitcoin actualmente o era el caso de Ethereum hasta septiembre del 2022, implican un sustancial impacto ambiental debido al alto consumo eléctrico que dicho mecanismo de consenso conlleva y las altas cantidades de residuos electrónicos que producen.

Blockchain muestra ser una tecnología en evolución, con significativos y constantes avances en materia de eficiencia e impacto ambiental. Un buen ejemplo de ello es la plataforma de Ethereum, que durante dos años trabajó para migrar de la prueba de trabajo como mecanismo de consenso a una prueba de participación, lo cual significó una reducción del 99,95% de su consumo energético y un aumento en su escalabilidad, que potenció la adopción de sus aplicaciones.

Por otra parte, debido a sus características de inmutabilidad, descentralización y transparencia, blockchain habilita un universo de aplicaciones mucho más amplio que el de las meras criptomonedas, con un impacto social, económico y de gobernanza muy positivo y revolucionario, tanto por las soluciones que ya brinda como por las posibilidades que abre a futuro. Por ejemplo, las formas en que los consumidores y ciudadanos controlan actividades o participan de organizaciones en marcos tan disímiles como certificar alimentos, validar créditos de carbono o redactar contratos inteligentes, entre muchos otros usos.

Parte del objetivo del informe es relevar casos de estudio concretos donde se aplica esta tecnología, como empresas que desarrollan proyectos de restauración de bosques nativos organizados y basados en blockchain, gobiernos que utilizan esta tecnología para garantizar la seguridad y transparencia de su información, organizaciones sin fines de lucro que garantizan la trazabilidad y transparencia de sus proyectos, comunidades digitales que definen sus propias reglas, procesos y formas de cooperar a través de una DAO, entre varios otros casos de uso que reflejan el potencial de esta tecnología.

Blockchain facilita la descentralización, contribuye con la transparencia, colabora con la cooperación y garantiza la seguridad de la información. En un mundo digitalmente ilimitado, una tecnología con estas características tendrá un profundo y amplio impacto en una sociedad y ambiente con recursos limitados.

Creemos que la activa y emprendedora comunidad blockchain tiene un rol fundamental: su continua labor permitirá reducir el impacto ambiental de esta tecnología e impulsar aplicaciones que colaboren en la lucha contra la crisis climática y ecológica. Además, la comunidad socioambiental puede trabajar para implementar soluciones y proyectos basados en blockchain que permitan lograr mejores resultados, aprovechando su descentralización, inmutabilidad y transparencia.

Para ser una tecnología concebida hace menos de 15 años, el crecimiento y alcance de blockchain ha sido extraordinario. Sin embargo, todavía debe madurar en productos, proyectos y aplicaciones masivas, seguras y utilizables. Este proceso se encuentra encaminado, habrá que ser pacientes para comenzar a ver sus resultados y, mientras tanto, continuar exigiendo que avance hacia mecanismos de consenso menos contaminantes que la prueba de trabajo la cual hoy tiene un impacto ambiental negativo muy grande.



S E C C I Ó N U N O

¿QUÉ ES BLOCKCHAIN?

¿QUÉ ES BLOCKCHAIN?

Introducción a blockchain

Blockchain es una nueva tecnología que permite registrar, almacenar y administrar información de forma tal que sea inmutable, transparente y descentralizada. Si bien todos los elementos que componen esta tecnología existen hace años y han sido utilizados extensamente —por ejemplo, funciones hash, llaves público-privadas y registros de información—, la combinación de estos elementos de una forma novedosa dio lugar a la unicidad de la blockchain.

El objetivo de esta sección es explicar al lector el funcionamiento, los beneficios, las limitantes, la historia, y casos de uso de esta tecnología. Resulta fundamental comprender estas cuestiones para analizar correctamente su potencial transformador, tanto para el desarrollo sostenible como para el ambiente. En un mundo donde la vida digital es cada día más relevante, esta tecnología propone nuevas formas de gobernanza y relación con la información y la data.

En primer lugar, repasaremos cómo funciona blockchain, comparándola con las bases de datos tradicionales y distinguiendo los diferentes elementos que componen esta tecnología. Luego analizaremos su relación con las criptomonedas y diferenciaremos ambos conceptos, haciendo especial énfasis en la evolución de blockchain y sus aplicaciones más allá del dinero digital.

Blockchain (descentralizada) vs. bases de datos (centralizada)

Tradicionalmente la información se registra y almacena en bases de datos centralizadas, administradas y controladas en las que un tercero de confianza valida la información y la comunica a las partes interesadas. Este tercero, usualmente llamado intermediario, dispone de la información, mientras que la mayoría de los usuarios no puede acceder a la misma o verificarla libremente. El intermediario suele poseer una cuota importante de poder sobre el sistema y en muchas ocasiones, cobra importantes comisiones por sus servicios.

Actualmente los sistemas centralizados presentan importantes deficiencias:

1. Los registros pueden perderse/destruirse, confiando en que el propietario tiene copias seguras;
2. Se debe confiar en que el operador de la base de datos valida los registros correctamente;
3. El listado de transacciones puede no estar completo, pero las partes deben confiar en que el operador incluya todos los registros relevantes; y
4. Se debe confiar en que el operador no modifique la información de la base de datos.

En general, está en el propio interés (a largo plazo) del propietario y administrador de la base de datos tener copias de seguridad, validar los registros, registrar toda la información y no modificarla. Sin embargo, en un registro centralizado dependemos de la confiabilidad e integridad del propietario/administrador, cosa que muchas veces no ocurre.¹

1 Por ejemplo, Google administra AdX, la principal plataforma de publicidad online, y abusa de su posición al manipular las subastas online, ocultando información a los anunciantes y a las publicaciones. Ver Orteu (2022), "Project Bernanke: ¿manipulando las subastas de publicidad online?"; Dynamic Markets, 01/04/2022. Link: <https://bit.ly/38BHCKT>

Blockchain ofrece un sistema alternativo a la base de datos centralizada, sea en su versión pública (*permissionless*) o privada (*permissioned*), con características altamente deseables. Sin embargo, es importante mencionar, que esta no siempre es superior a las bases de datos, dado que también tiene importantes limitaciones, tanto en su funcionamiento como en su potencial escalabilidad.

En particular, blockchain presenta 3 importantes ventajas respecto a las bases de datos centralizadas:

- 1) **Descentralización:** no hay una autoridad central que sea propietaria y administre la información del sistema. A su vez, cada usuario puede tener una copia de toda la información de la blockchain.
- 2) **Inmutabilidad:** una vez registrada y validada la información, no puede ser modificada por ningún participante, ya que cualquier intento es fácilmente detectable.²
- 3) **Transparencia:** todos los usuarios del sistema pueden verificar y acceder a la información registrada y almacenada.

Por otra parte, blockchain presenta algunas desventajas en cuanto a bases de datos tradicionales:

- **Menor eficiencia:** un sistema centralizado de información (bases de datos) suele ser más eficiente, pudiendo implicar menor consumo energético, mayor rapidez u otra variable deseable dependiendo del contexto.³
- **Almacenaje y procesamiento:** como consecuencia de su menor eficiencia, no suele ser el medio óptimo para almacenar grandes cantidades de información (que suelen guardarse fuera de la blockchain —*offchain*—) ni correr grandes programas. Si bien se están realizando avances en esta área, aún presenta limitaciones.⁴
- **Permisos y participación:** las bases de datos suelen tener sistemas de permisos con una granularidad muy detallada (qué puede hacer o no cada usuario) y son fácilmente revocables, características que no pueden replicarse en blockchain.
- **Almacenaje de las credenciales:** debido a la inmutabilidad de la información, resulta fundamental resguardar las credenciales de acceso al sistema porque, una vez registrada o modificada, la información no puede ser alterada.⁵

En la actualidad, el principal desafío de blockchain consiste en crear productos simples, intuitivos y seguros, que incentiven una amplia adopción por parte de consumidores no especializados pues por el momento continúa siendo una herramienta de nicho que no ha desarrollado aplicaciones, servicios o productos masivos pensados para el público en general (algunas aplicaciones incipientes de pagos basadas en criptomonedas justamente están yendo en esta dirección).

Origen

La idea central detrás de blockchain surge en 1991, como una propuesta para facilitar la firma de un documento digitalmente, dejando constancia de cuándo fue firmado (*time-stamped*) y validando que el mismo no fue modificado.⁶ A su vez, la

- 2 La información registrada no puede ser borrada. Cualquier modificación debe realizarse agregando nueva información que corrija la ya incorporada en la blockchain. Es decir, esta modificación debe ser validada e ingresada en un nuevo bloque.
- 3 Blockchain suele ser más lento y costoso (en términos energéticos) que las bases de datos tradicionales, en parte porque requiere un mayor nivel de tareas que una base de datos centralizada, como la verificación de firmas, los mecanismos de consenso y la copia de información en cada nodo. Ver "Blockchain Vs Database: Understanding The Difference", Gwyneth Iredale, 101 Blockchains, 30/07/2021. Link: <https://101blockchains.com/blockchain-vs-database-the-difference/> Para un estudio más detallado, ver Chen, S., Zhang, J., Shi, R., Yan, J., & Ke, Q. (2018, July). A comparative testing on performance of blockchain and relational database: Foundation for applying smart technology into current business systems. In International Conference on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions (pp. 21-34). Springer, Cham.
- 4 Por ejemplo, Ethereum limita el tamaño/complejidad de las operaciones a realizarse en su plataforma. Ver "Gas and Fees", Ethereum.org, recuperado 08/04/2022. Link: <https://bit.ly/3xiPM54>
- 5 Esto conlleva un importante problema de seguridad en algunos casos, por ejemplo, con criptomonedas, ya que si un tercero logra ingresar a las credenciales de acceso de una cuenta, puede transferir sus fondos y esa transacción no se podrá revertir. De la misma forma, si el usuario pierde las credenciales, no puede recuperar los fondos depositados.
- 6 Haber, S., Stornetta, W.S. (1991), *How to time-stamp a digital document*, Journal of Cryptology, 3, 99–111. Link: <https://doi.org/10.1007/BF00196791>

blockchain más antigua en funcionamiento es “analógica” y se publica en la sección de anuncios clasificados del New York Times desde 1995.⁷

Sin embargo, la tecnología blockchain como tal comenzó a utilizarse masivamente como dinero digital, también llamados criptomonedas, y fue presentada en el trabajo seminal de Nakamoto (2008) el cual define el funcionamiento de Bitcoin (ver sección [Blockchain vs. criptomonedas](#)).⁸ Si bien su primera aplicación fue Bitcoin, sus usos son mucho más amplios y no se limitan a simples transacciones, es decir, Bitcoin es solo una más de las tantas aplicaciones de blockchain. (ver [sección 2: Usos y beneficios ambientales, sociales y de gobernanza de blockchain](#)).

Funcionamiento de la blockchain⁹

Como se mencionó antes, blockchain reutiliza de forma novedosa tecnologías ampliamente utilizadas en otros campos: criptografía (hashes, firmas digitales, llaves público-privadas), ciencias de la computación (listados enlazados, redes distribuidas), y contabilidad/finanzas (libros mayores). La mejor forma de explicar blockchain es detallar brevemente sus componentes y luego el funcionamiento integrado del sistema.

Registro de información

La blockchain es un registro (*ledger*) donde queda constancia de cualquier cambio respecto a la información que la compone, sea su creación, modificación o intercambio, ya que todo cambio queda registrado en la blockchain en un orden secuencial que incluye fecha y hora de la modificación (*time stamped*) y quién la realizó.

Para realizar una modificación en la blockchain, sea registrar, transferir o editar información, el usuario debe primero anunciarlo a todos los participantes del sistema y demostrar que dicha modificación es válida firmando criptográficamente con una llave público-privada.

Sin embargo, para que la información quede incorporada en el sistema, usuarios especiales, llamados nodos mineros, deben validar la modificación de la información, verificar que la transacción sea posible y que dicha persona puede realizarla.¹⁰

Mecanismos de consenso

Dependiendo del contexto donde se utilice la blockchain, el proceso de validación de la información por parte de los mineros puede ser sencillo y directo, o por el contrario, complejo y costoso. Técnicamente este proceso se denomina mecanismo de consenso y define la forma en la que se valida la información de la blockchain y se resuelven conflictos de forma automatizada.

En sistemas donde hay confianza entre los usuarios, el proceso de validar modificaciones de información puede asignarse a determinados usuarios aleatoriamente y/o a través de sencillas reglas, que verifican que la persona que realizó dicha modificación podía hacerlo.

7 Los administradores publican en el New York Times el hash de toda la información nueva registrada en su servicio de registro de información inmutable, y tras compartir el hash, cualquier persona puede verificar que la información no fue modificada. “The World’s Oldest Blockchain Has Been Hiding in the New York Times Since 1995”, Vice, 27/08/2018. Link: <https://bit.ly/3S90xxT>

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

9 También recomendamos una serie de materiales complementarios:

- “Qué es “blockchain” en 5 minutos”, Play Ground, YouTube. Link: https://youtu.be/Yn8WGaO_ak
- “Blockchain 101 – A Visual Demo”, Anders Brownworth, YouTube, 05/11/2016. Link: https://youtu.be/_160oMzblY8
- “Blockchain 101 – Part 2 – Public / Private Keys and Signing”, Anders Brownworth, YouTube, 29/12/2017. Link: https://youtu.be/xIDL_akeras

Para una análisis más detallado, recomendamos: Yaga, D., Mell, P., Roby, N. and Scarfone, K. (2018), *Blockchain Technology Overview*, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202>

10 En el caso de las criptomonedas, esto implica que la persona que anuncia una transacción es dueña de los activos que desea transferir y que verdaderamente el dueño de los activos está anunciando esa transferencia.

En la blockchain donde no hay confianza entre los usuarios, el mecanismo de consenso es más complejo y por definición debe ser costoso de realizar para los nodos mineros —para así desincentivar acciones nocivas para el sistema—, pero recompensado para que haya usuarios interesados en realizar dicha tarea y garantizar el correcto funcionamiento de la blockchain.

Existe una variedad de mecanismos de consenso, siendo la prueba de trabajo (*proof of work, PoW*) y la prueba de participación (*proof of stake, PoS*) los más conocidos y utilizados.¹¹

Con PoW, el minero resuelve un acertijo criptográfico que exige un importante poder computacional, y resulta además en un alto costo de equipamiento y consumo de energía que no cumple ningún propósito en particular salvo generar un costo a los mineros. Para incentivar que ciertos nodos realicen la prueba de trabajo, el primer minero en resolver el acertijo es recompensado por el sistema.

En PoS los interesados en validar nuevos bloques deben primero invertir/congelar parte de sus activos digitales asociados a dicha blockchain a fin de ser asignados nuevos bloques para validar aleatoria y proporcionalmente en función de los activos congelados por el usuario sobre el total de activos invertidos. PoS asume que cuanto más invierte un usuario en el sistema, más interés tiene en que el mismo sea confiable, garantizando así que las transacciones sean correctas. Para incentivar que ciertos nodos cumplan con el rol de validadores, se los recompensa por su labor.

Estos sistemas buscan minimizar las probabilidades de que usuarios maliciosos lleven adelante prácticas nocivas para el sistema en general (como alterar la información de bloques anteriores), al volverlas extremadamente costosas.¹² Sin embargo, persiste el riesgo de que un usuario o grupo de usuarios pueda alcanzar el 51% del control de la blockchain (representado por el poder computacional en PoW o la proporción de activos en PoS) y modificarla a su favor y en detrimento de los otros usuarios del sistema.

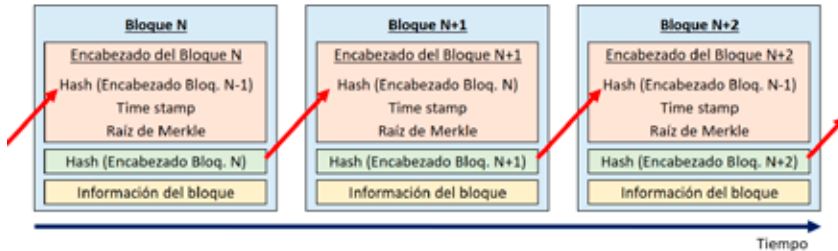
Bloques y cadenas de bloques

Un bloque está compuesto por registros validados a través del mecanismo de consenso predefinido por el sistema (como fue visto en la sección anterior), la fecha y hora de su creación (*time stamp*), un hash del encabezado correspondiente al bloque previo, un hash del árbol del “Merkle”¹³ que resume toda la información del bloque, y un hash del encabezado del bloque actual.

Hash es una función criptográfica que resume y codifica la información, es decir que comprime y garantiza la seguridad de la información procesada (ver próxima sección sobre las técnicas criptográficas). Al incorporar el hash del encabezado del bloque anterior dentro del encabezado del bloque actual, y luego, repetir el proceso con el hash del encabezado del bloque actual en el encabezado del próximo bloque (ver fig. 1 debajo), los bloques quedan criptográficamente enlazados unos con otros cronológicamente.

- 11 Existen más mecanismos de consenso como *Proof of Elapsed Time (PoET)*, *Proof of Burn (PoB)*, *Proof of Activity (PoA)* y otros. Para más información sobre mecanismos de consenso alternativos ver: “A (Short) Guide to Blockchain Consensus Protocols”, CoinDesk, 04/03/2017. Link: <https://bit.ly/3CKYHnw>
- 12 Un segundo objetivo de los mecanismos de consenso es resolver conflictos entre nodos, particularmente cuando dos bloques son creados y comunicados en simultáneo, existiendo dos versiones diferentes de la blockchain en tiempo real. Usualmente se resuelve considerando al bloque más extenso como válido, así la versión del bloque que primero agrega un bloque adicional es considerada como válida y toda la información del bloque descartado debe volverse a validar.
- 13 El árbol de Merkle es una estructura de datos procesados a través de una función de hash repetidas veces. Para más información, ver [Merkle tree – Wikipedia](#).

Fig. 1: Bloques enlazados criptográficamente



Fuente: elaboración propia

Se modifica o agrega información al sistema mediante la creación de nuevos bloques, donde la información anterior queda intacta y se genera un registro de la evolución de la información del sistema transparente a todos sus usuarios. De la misma forma, si alguien intenta modificar información en bloques anteriores puede ser fácilmente detectado por todos los usuarios del sistema que disponen una copia de toda la blockchain, debido a las propiedades de la función hash que explicaremos en la próxima sección.

En resumen, los usuarios del sistema proponen modificaciones o agregar información a la blockchain, pero dicha información debe ser validada por un nodo verificador/minero. Recién después del proceso de verificación el bloque es agregado a la blockchain, quedando vinculado al bloque anterior y al bloque posterior, garantizando la inmutabilidad y transparencia de la información.

Compresión y seguridad de la información

La información almacenada en la blockchain es procesada por funciones criptográficas llamadas hash, que tienen el objetivo de comprimir la información y resguardar su seguridad. La función hash transforma cualquier información digital, sin importar su tamaño ni formato, en un texto alfanumérico de largo predeterminado (ver tabla 1).

Esta herramienta criptográfica tiene tres ventajas muy importantes:

- Efecto avalancha: la más mínima modificación en el input da lugar a un output totalmente diferente.
- Resistencia a preimagen: es computacionalmente inviable (*infeasible*) determinar el input a partir del output.¹⁴
- Resistencia a colisión (resistencia a preimagen de segundo grado): es computacionalmente inviable que dos inputs diferentes generen el mismo output.¹⁵

Entonces, todos los usuarios que dispongan del mismo input alcanzarán el mismo output, sin embargo, si alguna parte del input es modificada por algún usuario, este usuario alcanzará un output (muy) diferente al del resto de los usuarios. Esto implica que, si un usuario nocivo modifica su copia de algún bloque, la función hash de su bloque se verá modificada, y será diferente al hash agregado en el bloque posterior de la cadena (todos los bloques posteriores serán inválidos) y a la copia del hash del bloque que dispone el resto de los usuarios del sistema.¹⁶

14 Es importante resaltar que es computacionalmente inviable, no imposible, resolver las funciones de hash, dado que en un futuro, avances tecnológicos como la computación cuántica podrían resolver estos problemas computacionalmente complejos. Incluso Satoshi Nakamoto se refiere a este tema en su correspondencia y concluye que en el futuro se debería reencriptar todo el sistema con una nueva función de hash más segura y avanzada para evitar que la seguridad de la blockchain sea vulnerada. Para mayor detalle, ver: Satoshi, N. (2014), *The Book of Satoshi: The Collected Writings of Bitcoin Creator Satoshi Nakamoto*, editado por Phil Champagne, publicado en 2014.

15 Habría que ejecutar la función un promedio de 2^{218} veces para encontrar una colisión o un output en particular.

16 Si un usuario nocivo modifica un bloque, la función hash de dicho bloque será diferente a la función hash que originalmente se había utilizado para enlazar el próximo bloque, implicando que toda la cadena de bloques posterior al bloque modificado se invalidará. Entonces, el usuario nocivo deberá "actualizar" todos los bloques posteriores al bloque modificado para que los bloques vuelvan a estar enlazados correctamente.

Debido a que todos los usuarios tienen una copia del blockchain, cada usuario podrá ver que la versión del blockchain modificada es diferente a la suya, poniéndose de manifiesto que dicho nodo realizó alguna actividad nociva, por lo que dicha versión del blockchain será descartada por el resto de los usuarios. Sin embargo, si el nodo nocivo logra transformar su versión modificada del blockchain en la versión más larga disponible, el mecanismo de consenso predefinido la tomará como válida transformándose esta en la versión oficial.

Para poder crear una versión más larga de la blockchain, el usuario nocivo deberá disponer de más del 51% de capacidad computacional del sistema (en PoW) o más del 51% de la participación (en PoS). Usualmente llamado un ataque del 51%, constituye una de las vulnerabilidades del sistema blockchain en sus versiones *permissionless*. Para más información ver: "What is a 51% Attack?", Coindesk, 12/10/2021. Link: <https://bit.ly/3CKYOiW>

Tabla 1: Ejemplos de la función hash (SHA-256)

Input – x	Output – hash (x)
“0”	5feceb66ffc86f38d952786c6d696c79c2db-c239dd4e91b46729d73a27fb57e9
“1”	6b86b273ff34fce19d6b804eff5a3f5747a-da4eaa22f1d49c01e52ddb7875b4b
Entrada completa de Satoshi Nakamoto de Wikipedia en español	1a5682f39238c23fbcbf0460c3cabae-1b6afb17b58b4572430745370d3de8b3d
“la magia del hash”	e1e32a8e5cd62bc17f82c8bc64300c50e44c-da686085c12256188ccad905bc42

Fuente: elaboración propia utilizando la función hash de blockchain.mit.edu

La función hash es un componente central del sistema blockchain, ya que garantiza su seguridad e inmutabilidad, permitiendo que cualquier modificación al sistema sea fácilmente detectada por todos los usuarios, e incluso comprime el tamaño de la información que se almacena y comunica.

La segunda herramienta criptográfica central al sistema blockchain son las llaves criptográficas asimétricas, también conocidas como llaves público-privadas, utilizadas para validar la identidad digital de los usuarios en el sistema. Cualquier acción en la blockchain debe ser firmada con la llave privada del usuario que la realiza.¹⁷ Posteriormente, otros nodos utilizan la llave pública del usuario, libremente disponible, para validar la modificación tras verificar que dicho usuario realmente haya realizado dicha acción y que está habilitado para hacerla.

En sistemas anónimos, como suelen ser las criptomonedas, un mismo usuario puede tener múltiples llaves público-privadas anónimas, mientras que en otros sistemas el usuario debe validar su identidad (por fuera del blockchain) para acceder a una llave público-privada siendo esta decisión central al diseñar la arquitectura de una blockchain.

Caracterización de las blockchain

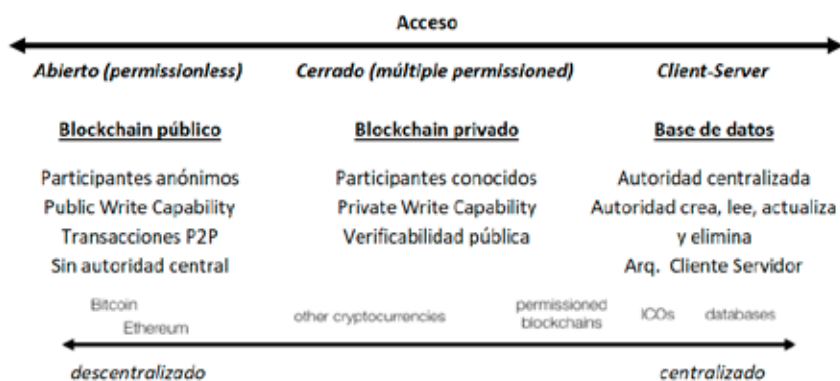
Podría decirse que existe un continuo de opciones según la centralización o descentralización del sistema elegido para almacenar y administrar información o registros. Las bases de datos tradicionales son una opción totalmente centralizada, mientras que una blockchain abierta o pública (*permissionless*) como Bitcoin es totalmente descentralizada (ver fig. 2). Luego existe una variedad de opciones intermedias, entre las que vale la pena resaltar una blockchain privada (*permissioned*).

En blockchain públicas, cualquier usuario puede acceder, asumir el rol de verificador y realizar cambios en la blockchain (siendo fundamental el mecanismo de consenso para garantizar la seguridad y confianza del sistema) mientras que en blockchain privadas solo el creador de la blockchain puede limitar el acceso al sistema, los roles, quién puede escribir o verificar las modificaciones, pero la transparencia queda garantizada pues todos sus miembros acceden a toda la información del sistema.

17 La llave pública y la llave privada están matemáticamente relacionadas una con la otra, pero la llave privada no puede ser determinada a partir de la llave pública. Cuando ocurre una transacción, el usuario firma la misma criptográficamente con su llave privada permitiendo que la firma sea verificada con la correspondiente llave pública. La dirección de un usuario es el hash de su llave pública (sumado a alguna información adicional utilizada para detectar errores).

Llave privada → llave pública → hash (llave pública) → dirección del usuario
La dirección de un usuario es su “identidad” pública en el blockchain. Un usuario puede crear una o múltiples combinaciones de llaves públicas-privadas, sin embargo, el creador/administrador del blockchain puede definir las condiciones de dicho proceso.

Fig. 2: Acceso y centralización



Fuente: elaboración propia

Blockchain vs. criptomonedas

Como se mencionó previamente, Bitcoin es la primera aplicación moderna de blockchain tal como la definimos en la actualidad, y las criptomonedas en general, no solamente Bitcoin, son en la actualidad, la aplicación de mayor adopción dentro de la tecnología blockchain, con casi 300 millones de usuarios (Crypto.com, 2022).¹⁸ Sin embargo, no debe olvidarse que las criptomonedas son solo una aplicación entre los varios usos que puede dársele a la tecnología blockchain.

El 10/11/2021 todas las criptomonedas en su conjunto alcanzaron una valuación total de 2,97 billones (trillions en inglés) de dólares en tanto que en octubre del 2022 su valor rondó los 800 mil millones de dólares.¹⁹ La confianza en las criptomonedas se sustenta en su uso de herramientas criptográficas probadas como las funciones hash o llaves público-privadas, y en la transparencia e inmutabilidad de la información, características de la tecnología blockchain en general.²⁰

A medida que el conocimiento, confianza y adopción de las criptomonedas ha ido avanzando, así también se han ido desarrollando nuevos usos, servicios y aplicaciones relacionados con esta infraestructura digital llamada blockchain. Si bien su adopción es incipiente, avanza muy rápidamente como lo evidencia el desarrollo de nuevas y mejoradas plataformas blockchain.

Primera generación: Bitcoin y dinero digital

La primera generación de blockchain hace referencia al Bitcoin, cuya única función era operar como dinero digital. El objetivo planteado era crear una forma de dinero en efectivo pero electrónico que permitiese realizar pagos online directamente entre las partes sin mediar una institución financiera centralizada, generando confianza en la validez de las transacciones gracias a la prueba de trabajo que validaba las transacciones.

Con la popularización de Bitcoin fueron emergiendo alternativas de criptomonedas, o "AltCoins", que ofrecían combinaciones y aplicaciones levemente diferen-

18 Crypto.com (2022), *Crypto Market Sizing Global Crypto Owners Reaching 300M*, January 2022. Link: <https://bit.ly/3eiSaSw>. El número total de wallets suele ser una mala aproximación para estimar el número total de tenedores de cualquier criptomoneda debido a que un usuario puede tener múltiples wallets, pero principalmente debido a que algunos exchange y pools de minería centralizan la tenencia de activos que corresponden a miles de usuarios.

19 Ver "Total Crypto Market Cap Chart", CoinGecko, recuperado el 21/08/2022. Link: <https://bit.ly/3rLoEYw>

20 Muchos consideran que el valor de las criptomonedas viene dado por un nuevo acuerdo institucional monetario sin intervención de gobiernos. Igualmente, esta creencia es posible gracias a la seguridad que brinda la tecnología subyacente.

tes, pero siempre con el mismo objetivo: proveer una forma de dinero electrónico. Sin embargo, en simultáneo, muchos individuos del ecosistema descubrieron que la tecnología utilizada por las criptomonedas, actualmente conocida como blockchain, podía tener muchas más aplicaciones además del dinero digital.

Segunda generación: Ethereum y los contratos digitales

La segunda generación de blockchain está compuesta por plataformas que no solo registran transacciones contables, sino que permiten almacenar y procesar información dentro de la blockchain, permitiendo crear aplicaciones descentralizadas.

El principal ejemplar de esta generación es la plataforma Ethereum, desarrollada por Vitalik Buterin y presentada en una publicación del 2013 titulada “*Ethereum: The Ultimate Smart Contract and Decentralized Application Platform*” la cual propone una plataforma de computación descentralizada donde miles de máquinas distribuidas en el mundo trabajen de forma conjunta, sin que ninguna tenga autoridad sobre otra, y que con el tiempo y recursos suficientes, puedan ejecutar cualquier tipo de aplicación.²¹

Ethereum incluye su propio dinero digital denominado Ether (\$ETH), que puede ser utilizado para transacciones normales como BTC, y a su vez es necesario para pagar la potencia de cálculo utilizada al ejecutar las aplicaciones descentralizadas y recompensar a aquellos que lo proveen.

Al día de la fecha, las aplicaciones que se corren en la plataforma Ethereum suelen ser contratos inteligentes, donde las partes acuerdan términos conjuntos que luego la plataforma procesa de manera independiente garantizando su cumplimiento ([ver sección Contratos Inteligentes](#)). Así el protocolo de Ethereum logró ir un paso más allá de lo monetario, creando una red blockchain distribuida que permite a cualquier persona, en cualquier lugar, desarrollar y publicar códigos para darle vida a todo tipo de contratos, programas y aplicaciones descentralizadas.

Tercera generación: hacia Web3 y las DAOS

El principal objetivo hacia adelante es que las blockchain se vuelvan escalables siendo más eficientes en cuanto a su consumo energético y su poder de procesamiento para que esta tecnología pueda desplegar todo su potencial y continuar su proceso de masificación y adopción.

Por un lado, están surgiendo nuevas plataformas basadas en blockchain, tales como Cardano, Polygon, IOTA entre otras. Por el otro, plataformas como Ethereum han ido evolucionando e implementando formas de trabajo más eficaces y modernas que permiten escalar el ecosistema. Sin embargo, la actualización de un sistema descentralizado sin una autoridad central presenta importantes desafíos técnicos y políticos (dentro y fuera de la plataforma) que dificultan avanzar con cambios de tecnología y/o reglas de funcionamiento de un sistema.

Por ejemplo, el 15 de septiembre del 2022 Ethereum logró migrar exitosamente de la prueba de trabajo (PoW) como mecanismo de consenso a la prueba de participación (PoS) —proceso conocido como “The Merge”— para mejorar la eficiencia energética de su sistema, y permitir la operación de múltiples cadenas en simultáneo dando lugar a una mayor eficiencia y escalabilidad.²²

21 “*Ethereum: The Ultimate Smart Contract and Decentralized Application Platform*”, Vitalik Buterin, 2013. Link: <https://bit.ly/3emleqT>

22 “*The Merge*”, Ethereum.org, recuperado el 30/09/2022. Link: <https://ethereum.org/en/upgrades/merge/>
“*Ethereum Founder Buterin Forecasts Blockchain Merge on Sept. 15*”, Bloomberg, 12/08/2022. Link: <https://bloom.bg/3rPVho6>

Sin embargo, siempre existe el riesgo de que cuando se actualiza un sistema descentralizado, ocurra un “fork” (bifurcación), es decir, que un número significativo de usuarios no acepte la nueva actualización, y continúe utilizando el sistema anterior, compitiendo con el sistema actualizado. Esto ya ocurrió en julio del 2016, donde parte de los usuarios y mineros crearon una bifurcación de Ethereum, llamada Ethereum Classic, dando lugar a una blockchain paralela con mucho menor tráfico y volumen. Parecería que una bifurcación de Ethereum a partir de la migración a PoS ha sido evitada, pero al día de la fecha, ese riesgo continúa latente.

La adopción de aplicaciones y programas descentralizados está dando lugar a una nueva forma de organizar la internet, conocida como Web3, donde se busca llevar la descentralización permitida por blockchain a servicios tradicionales de internet. Adicionalmente, se aspira a potenciar la adopción de Organizaciones Autónomas Descentralizadas (DAOs por sus siglas en inglés). Técnicamente, DAOs es una forma de contrato inteligente más complejo, pero su objetivo es permitir y facilitar que grupo de personas con un objetivo común pueda organizarse bajo un modelo democrático, participativo y productivo a través de la tecnología blockchain. El objetivo final de esta y/o futuras generaciones de blockchain es trabajar en pos de una sociedad digital descentralizada.²³

23 EFANOV, Dmitry; ROSCHIN, Pavel. *The all-pervasiveness of the blockchain technology*. Procedia computer science, 2018, vol. 123, p. 116-121.



S E C C I Ó N D O S

USOS EN AMBIENTE, SOCIEDAD Y GOBERNANZA

USOS EN AMBIENTE, SOCIEDAD Y GOBERNANZA

Blockchain es una tecnología que permite registrar la información de forma descentralizada y de manera que esta no pueda ser manipulada, facilitando la cooperación entre individuos y sistemas. Blockchain posibilita automatizar procesos y reducir costos; generar data estandarizada, consistente e integrada a una red con actualización en tiempo real intercambiando información de manera confiable, transparente y eficiente; verificar registros instantánea e independientemente; rastrear origen de datos, determinar reglas y asegurar su cumplimiento para facilitar transacciones entre dos o más partes entre otros beneficios.

El objetivo de esta sección es analizar de qué formas se puede aplicar esta tecnología para hacer frente a los desafíos ambientales, sociales y de gobernanza (ESG por sus siglas en inglés) que enfrenta la sociedad en la actualidad, a través de casos de uso reales. Vislumbramos un futuro mucho más promisorio de esta tecnología, que aún en su fase incipiente, está dando muestras de su gran potencial transformador.

Eje ambiente: transparencia, coordinación y seguridad al servicio del ambiente

Si bien la tecnología blockchain es una herramienta incipiente, su aplicación en el abordaje de problemas socioambientales permite aportar soluciones innovadoras y eficientes. El uso de las blockchain en cadenas de suministros industriales, en los procesos de control y monitoreo ambiental y en el mercado de créditos de carbonos son algunas de las aplicaciones más relevantes que puede tener esta herramienta. De igual forma, esta tecnología resulta funcional no solo a la hora de auditar y controlar impactos ambientales sino también para dar cuenta del cumplimiento de los estándares establecidos por la regulación y las mejores prácticas de gestión ambiental. Por último, en los mercados de créditos de carbono, los sistemas de consenso y validación descentralizados que ofrece esta tecnología son útiles para enfrentar problemáticas de contabilidad, eficiencia y transparencia relativos a la gestión de información sobre las transacciones, medidas de conservación y restauración de los ecosistemas, mitigación y adaptación contra el cambio climático.

Cadena de suministros

En la producción de cualquier bien o servicio, existe toda una cadena compuesta por eslabones de actividades y actores intervinientes, desde la obtención de la materia prima necesaria hasta el producto final e incluso más allá del mismo, en la disposición de residuos. La demanda de los consumidores y las regulaciones en pos de mayor transparencia y prácticas ambientales y sociales responsables, han extendido la responsabilidad ambiental de las empresas a lo largo de toda la cadena de suministros. Las implicancias tienen un alcance no solo ambiental, sino también ético y comercial ya que los mercados están empezando a demandar a las empresas productos que minimicen el impacto ambiental y la incorporación de altos estándares de integridad y sostenibilidad. En este contexto, resulta evidente la oportunidad que ofrece blockchain para brindar trazabilidad, trans-

parencia, inmutabilidad y confianza a la cadena de suministros. Por ejemplo, las empresas que desean implementar prácticas sostenibles, la mayoría de las veces, no cuentan con mecanismos que permitan trazar ni controlar las actividades de sus proveedores, lo cual puede ir en detrimento de sus propios objetivos e incluso de su reputación. Organizar una cadena de suministro en blockchain permitiría a todos los participantes contar con información sobre las actividades y productos en cada una de sus etapas garantizando su origen y procesamiento adecuado.²⁴ Dicho proceso posibilitaría trazar los procesos a lo largo de toda la cadena productiva, contar con información confiable, transparente y accesible, controlar variables de interés, acreditar procesos y estándares ambientales entre otros beneficios.²⁵

Una aplicación de blockchain particularmente promisoría en el corto plazo es en la industria agrícola, donde tecnologías de contabilidad distribuida— como las blockchain— y los contratos inteligentes ofrecen una oportunidad única para mejorar la eficiencia, la transparencia y trazabilidad para el intercambio de valor e información en el sector agrícola (ver FAO, 2018 y 2019).²⁶ La certificación de productos bajo estándares específicos es uno de los ejemplos de aplicación de estas tecnologías en las cadenas de suministro debido a la trazabilidad e información confiable sobre el origen y los procesos que intervienen en la cadena de producción de ciertos bienes, facilitando los procesos de certificación bajo diferentes sellos de calidad como en el caso de productos orgánicos, veganos, carbonos neutrales, etc. Del mismo modo, blockchain también puede contribuir a fomentar la economía circular mediante la documentación de las etapas de productos y materiales más allá de su primer uso.

Por último, el uso de esta herramienta resulta también interesante para la implementación de políticas públicas. Por ejemplo, en un estado que se propusiera gravar las emisiones de carbono, la trazabilidad e inalterabilidad de la información registrada de las actividades en la blockchain facilitarían el cobro de tasas diferenciales, incentivando una producción más sostenible. Incluso, estas tecnologías también pueden colaborar en los mercados de bonos de carbono permitiendo su trazabilidad y confiabilidad (ver sección Mercado de carbono y blockchain).

OPEN VINO

Open Vino es un ejemplo de cómo la blockchain puede ser usada para certificar estándares de producción, ya que permite a las bodegas autocertificar su producción de vino mediante la complementación de la tecnología blockchain con el Internet de las Cosas (IoT).

A través de sensores colocados en ubicación y puntos específicos del proceso productivo se recolectan datos sobre las condiciones ambientales, temperaturas, acidez de los suelos, entre varios otros. Esta información queda automáticamente registrada en la plataforma blockchain, y en base a esta información, cumpliendo con determinados estándares de calidad y procesos, la bodega puede certificar su producción de forma descentralizada y gratuita, a través de Open Vino (BioDigital Certification).

- 24 Blockchain puede ser aplicada no solo para cuestiones ambientales sino para otras de índole diversa como gestionar interrupciones en la cadena, lograr visibilidad punta a punta de los productos y procesos y resolver disputas de manera automática (a través de contratos inteligentes), entre otras aplicaciones. Ver Esmailian, B., Sarkis, J., Lewis, K., & Behdad, S. (2020). *Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0*. Resources, Conservation and Recycling, 163, 105064.
- 25 Actualmente, la empresa IBM ofrece soluciones blockchain para cadenas de suministros en el sector de salud, logístico y de alimentos. Más información disponible en la página web de IBM: <https://www.ibm.com/ar-es/blockchain-supply-chain>
- 26 FAO (2018). "Emerging Opportunities for the Application of Blockchain in the Agri-food Industry". Disponible en: https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1jUY9pHFvGQYE4s_0aTVCTB-G7IHtjOid
FAO (2019). "E-agriculture in action: Blockchain for agriculture. Opportunities and challenges". Recuperado de: <https://www.fao.org/3/CA2906EN/ca2906en.pdf>
FAO identifica al menos cuatro grandes beneficios de la utilización de estas tecnologías:
- 1) La tecnología permite lograr la trazabilidad del origen de los productos, con un impacto positivo en la seguridad alimentaria, calidad y sostenibilidad.
 - 2) El uso de contratos inteligentes permite pagos automatizados y sin conflictos que pueden reducir los costos de transacción, disminuir riesgos para los compradores y vendedores y aumentar su cash flow y su capital de trabajo.
 - 3) Permite construir identidades digitales con sus activos registrados brindando información precisa— tanto a la cadena de suministro como al sector público, que puede ser usada para informar sobre decisiones de producción y marketing, para generar historial crediticio y crear un ambiente apto para políticas mejor informadas. Asimismo, el registro de bienes físicos como títulos de tierras puede servir como colateral para acceder a financiación.
- Puede contribuir a implementar y monitorear compromisos internacionales asumidos como los acuerdos de la Organización Mundial del Comercio (WTO por sus siglas en inglés) así como el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático.

Si bien la aplicación actual de Open Vino fue pensada para la producción vitivinícola, esta podría ser aplicada a múltiples cadenas agroalimentarias y diferentes estándares de calidad (orgánicos, carbono neutral, etc.), ofreciéndole al cliente transparencia y confianza, y al productor una forma de vincular la calidad de sus procesos productivos al producto final.

Control y monitoreo ambiental

Cada país, incluso cada industria, cuenta con diferentes marcos jurídicos, normativos y estándares que regulan y establecen los procesos necesarios para auditar impactos ambientales, controlar el correcto tratamiento de materiales, desechos y efluentes, limitar las actividades nocivas para el ambiente y garantizar que se cumplan las buenas prácticas de diferentes cadenas productivas. Estas acciones resultan sumamente importantes para asegurar el desarrollo sostenible, pero en muchas ocasiones, estos procesos de control y monitoreo son susceptibles de ser alterados o corrompidos. Blockchain puede ser una herramienta de gran utilidad para reducir estos problemas y volver más eficientes y transparentes estos procesos.

PLASTIC BANK

Los océanos son imprescindibles para el equilibrio climático y la salud del ambiente dado que absorben dióxido de carbono generado por las actividades antropogénicas y son el hogar de millones de especies y el sustento de millones de personas. Sin embargo, numerosas especies se extinguieron o entraron en peligro de extinción debido a la pesca industrial o a la alteración de su hábitat y aumento de los niveles de contaminación. Mitigar los efectos del daño ambiental provocado por el humano en los ecosistemas marinos, es un reto urgente y prioritario.

Plastic Bank es una iniciativa creada en 2013 con el objetivo de recuperar plásticos del océano y generar valor y trabajo al reciclar, tratar y revender dicho plástico. Plastic Bank comenzó a utilizar blockchain, asesorado y potenciado por IBM, donde a través de la aplicación de la organización, los recolectores entregan un plástico y reciben un token a cambio pudiendo hacer un seguimiento del destino dado a dicho plástico y vender los tokens a cambio de dinero.

Una vez recolectado, el plástico es tratado y convertido en un material llamado *Social Plastic*, que a su vez es utilizado para la fabricación de nuevos productos, todo bajo la supervisión del recolector al cual se le garantiza la trazabilidad a lo largo de todo su procesamiento y su reintroducción a la cadena circular de valor.

PROGRAMAS PÚBLICO-PRIVADOS

El interés por estos temas convoca no solo al sector privado sino también al sector público que busca en las blockchain soluciones para problemas complejos, como es el tratamiento de los residuos. Por ejemplo, el Reino Unido a través GovTech Catalyst, un programa que apoya proveedores que presentan soluciones innovadoras y digitales para problemas públicos, organizó un concurso para abordar el

problema del seguimiento de la basura desde su generación a lo largo de todo su territorio.²⁷ Cinco empresas fueron las seleccionadas y los proyectos ganadores incluían soluciones de trazabilidad de residuos mediante la ayuda de chips electrónicos y sensores, el uso de blockchain y data analytics. Uno de estos proyectos, llamado Vastus, presentó un sistema de seguimiento para ayudar a unificar diferentes registros utilizados por las empresas actualmente para informar los datos de la gestión de residuos.²⁸ Dicha tecnología basada en blockchain, permitiría llevar adelante un registro de todos los movimientos de residuos en el Reino Unido, tener disponibilidad de la información, rastrear los residuos desde el origen hasta su tratamiento y disposición final y ayudar a los productores y administradores a cumplir con las regulaciones.

En Argentina, por su parte, existen iniciativas incipientes que abordan el tema de los residuos mediante soluciones innovadoras y digitales. El proyecto Colmena de la provincia de Misiones, por ejemplo, incentiva el reciclaje conectando a los generadores de residuos con los recolectores y los recicladores a través de una aplicación.²⁹ En este emprendimiento, los residuos son pesados en balanzas electrónicas vinculadas a un sistema de software las cuales permiten calcular la recompensa en moneda virtuales de la plataforma.^{30,31} En India y Estados Unidos, también existen iniciativas similares.³²

Internet de las cosas

Los sistemas de control, monitoreo o certificación basados en blockchain enfrentan el desafío de cómo interpretar o conectarse con el mundo físico, es decir, cómo obtener información del mundo real y procesarla digitalmente. Por ejemplo, la recolección de datos ambientales se lleva adelante en el mundo a través de herramientas o medios físicos (hardware) ya sea mediante sensores, cámaras, satélites, o incluso data obtenida por la observación humana de un auditor. Por tal motivo, los datos que se incorporan a la blockchain todavía pueden ser manipulados antes de su registro.

Tecnologías complementarias, como la Internet de las Cosas, donde la interacción de dispositivos autónomos y automáticos con conexión propia puede facilitar la recolección de información automatizada e independiente, posteriormente registrada en la blockchain. Blockchain podría reducir el fraude en softwares y garantizar la transparencia y apertura de datos, aunque dicha información podría aún correr el riesgo de ser manipulada al momento de realizar la medición con el dispositivo, registrando información previamente adulterada. Por tal razón, los sistemas de monitoreo basados en blockchain todavía requieren sistemas adicionales de control que garanticen la fiabilidad de la información detectada y luego registrada.

Mercado de carbono y blockchain

Los créditos de carbono son certificados comercializables que representan la eliminación o reducción de una tonelada de emisiones de dióxido de carbono equivalente de la atmósfera.³³ Los bonos de carbono y su mercado surgieron a partir del Protocolo de Kyoto en el cual 36 países asumieron compromisos de reduc-

- 27 “GovTech Catalyst”, UK Government, 21/05/2018. Link: <https://bit.ly/3zvXKs3>
- 28 “Anthesis waste tracking system wins development funding from GovTech Catalyst Challenge”, Anthesis Group, 19/02/2019, link: <https://bit.ly/3zz9s5c>
- 29 Proyecto Colmena, link: <https://www.colmenaproject.io/>
- 30 El mecanismo utilizado por la blockchain es *delegated proof of stake*.
- 31 Según la página de la iniciativa, el proyecto se encuentra en prueba de implementación.
- 32 Bloomberg (18.03.2021). *Even Garbage Is Using Blockchain Now: Pilot projects that use innovative data collection to encourage recycling and responsible waste management are underway in Argentina, India, and the U.S.* Disponible en: <https://bloom.bg/3D4ob8Y>
- 33 Ver Carbon Neutral (03.06.2022). *Mercado de Carbono: Voluntario vs. Regulado*. Recuperado de: <https://bit.ly/3TXG68k>

ción de emisiones de gases de efecto invernadero, mediante la implementación de medidas nacionales de mitigación. Para alcanzar dichos objetivos, el Protocolo estableció tres mecanismos de mercado que brindan cierta flexibilidad a la hora de cumplir dichas metas, creando lo que se conoce como el mercado de carbono, a través de la comercialización de Derechos de Emisión y Certificados de Reducción de Emisiones originados en proyectos.

Además del mercado de créditos de carbono originado a raíz de la necesidad de cumplir con los compromisos obligatorios, existe un mercado voluntario a través del cual partes interesadas negocian libremente reducciones certificadas de emisiones en base a proyectos que buscan reducir el impacto socioambiental. Estas iniciativas no guardan relación con regulaciones impuestas, sino que, por el contrario, son proyectos auditados y certificados por entidades independientes, que buscan absorber o reducir los gases de efecto invernadero para ser vendidos en los mercados voluntarios y adquiridos por quienes buscan reducir o compensar su huella de carbono. Una vez utilizados estos créditos, deben salir de circulación para evitar la doble contabilización.

Estos mercados no están exentos de críticas y desafíos relacionados a la falta de transparencia y contabilidad robusta. Según el reporte de Naciones Unidas sobre blockchain y sostenibilidad el mercado de bonos de carbono voluntario actual presenta varias ineficiencias: se estructura en múltiples mercados centralizados, sin interconexión; las regulaciones de mercado de carbono y las emisiones de certificados son complejas y realizadas por instituciones centralizadas que no actúan al unísono³⁴; los mercados tienen umbrales financieros altos que no permiten que los individuos participen y carecen de transparencia, lo que limita aún más la información disponible para sus participantes; y, por último, el tiempo de los proyectos, así como la inversión en su verificación por entidades certificadoras implica la erogación de elevados montos de dinero, por lo que solo grandes proyectos son económicamente viables.³⁵

La falta de transparencia y contabilidad robusta no es exclusiva de los mercados voluntarios, los mecanismos de transferencia internacional cooperativos establecidos bajo el Acuerdo de París no escapan a dicha problemática debido a la heterogeneidad de los sistemas de contabilidad y control que dificultan la posibilidad de evaluar, trazar y comparar las acciones de los países.³⁶ De hecho, este punto es de relevancia y ha sido expresamente marcado en el acuerdo, el cual establece que *“cuando participen voluntariamente en enfoques cooperativos que entrañen el uso de resultados de mitigación de transferencia internacional para cumplir con las contribuciones determinadas a nivel nacional, las Partes deberán promover el desarrollo sostenible y garantizar la integridad ambiental y la transparencia, también en la gobernanza, y aplicar una contabilidad robusta que asegure, entre, otras cosas, la ausencia de doble cómputo (...)”*.³⁷

Frente a estos desafíos, blockchain emerge como posible solución. Por un lado, la trazabilidad de los créditos aumentaría la confianza en los instrumentos y reduciría la información asimétrica, lo que permitiría mejorar la eficiencia y reducir costos de validación, transacción y operación. A su vez, el sistema aumentaría la liquidez y fomentaría la participación de más agentes en el mercado. Por otro lado, la blockchain podría mitigar los problemas de transparencia, resistir la manipulación y evitar la doble contabilización de las transacciones. Esto no sólo mejoraría la cre-

34 El hecho de que los mercados de carbono se encuentren estructurados y controlados por diferentes mecanismos centralizados en distintas jurisdicciones, podría dar lugar a la doble contabilización de los bonos afectando, la credibilidad de estos instrumentos para reducir el impacto ambiental efectivamente.

35 United Nations Environment Programme (2022). *Blockchain for sustainable energy and climate in the Global South*. Disponible en: <https://bit.ly/3R9N35I>

36 Para más detalles, ver: Schletz, M., Franke, L. A., & Salomo, S. (2020). *Blockchain Application for the Paris Agreement Carbon Market Mechanism—A Decision Framework and Architecture*. *Sustainability*, 12(12), 5069.

37 Acuerdo de París. Artículo 6.2, mecanismos de transferencia internacional cooperativos para que los países puedan cumplir con los compromisos asumidos de reducción de las emisiones (determinadas a nivel nacional-CDN).

dibilidad de este mercado, fomentando la creación de más proyectos destinados a reducir el carbono en la atmósfera, sino que también aumentaría la credibilidad general de las regulaciones y/o mecanismos de mercados para hacer frente a la crisis climática, y reduciría comportamientos indeseados como el “green washing”.³⁸

Por último, blockchain también podría ser utilizada en la aplicación del Acuerdo de París con el objeto de mejorar y homogeneizar los mecanismos de control de las transacciones, para la consecución de las metas planteadas.³⁹ De hecho, para la OCDE (2019) el sistema de emisión de certificados se volvería mucho más eficiente si se usara una blockchain para garantizar la transparencia y confiabilidad de la información, el control efectivo de las cuotas y los certificados de circulación, la integridad del mercado y la robustez en la contabilidad, además de automatizar transacciones y permitir un aumento de la eficiencia general.⁴⁰

TREEFY

Treefy es una start-up de base tecnológica que se propone hacer frente al cambio climático mediante la restauración y conservación masiva de la biodiversidad nativa. Para ello, trabaja en un modelo de negocio centrado en el cálculo de la huella de carbono y ecológica individual, y la venta de tokens no fungibles, o NFTs, tokens fungibles y créditos de carbono o de servicios ecosistémicos, respaldados en la digitalización y tokenización de parcelas de ecosistemas restaurados sobre la base de blockchain.

Treefy se define como una ecotech de restauración y conservación ecológica que integra activos naturales con blockchain, permitiéndole a los usuarios participar directamente en la conservación y restauración ecológica. A su vez, ciertos proyectos piloto permitirían la emisión de créditos de carbono y/o de servicios ecosistémicos certificados plausibles de ser comerciados en los mercados voluntarios, ofreciéndole una rentabilidad al dueño del token.

Treefy se propuso la meta global de restaurar y conservar 50 millones de hectáreas de tierras (hacia el 2030) que hayan sufrido degradación de su suelo y/o pérdida de biodiversidad, empezando a corto plazo con la conservación y restauración de 1 millón de hectáreas de biodiversidad nativa.

SOLARCOIN

La energía, pero cada día más la energía eléctrica, es un requisito para el crecimiento y desarrollo de cualquier país, región o comunidad. Sin embargo, la mayor parte de la energía empleada proviene de combustibles fósiles que generan importantes emisiones de carbono.

SolarCoin, un proyecto creado en 2014, tiene como objetivo incentivar la generación de energías renovables, particularmente energía solar, a través de la creación de una criptomoneda entregada a aquellos que produzcan este tipo de energía.

Los productores de energía solar reciben 1 SolarCoin (moneda virtual del proyecto) por cada MWh de electricidad producida con paneles fotovoltaicos. Luego de validar la generación de dicha energía solar, de forma automática o mediante la

38 El *green washing* es una estrategia de marketing que busca crear una imagen de responsabilidad ecológica aunque luego se sigan realizando acciones dañinas para el ambiente.

39 “Trading of CO₂ certificates: Blockchain as a solution”, Lexology, Härtling Rechtsanwälte, 29/03/2022, link: <https://bit.ly/3DxSl6e>

40 OCDE (2019). “Blockchain Technologies as a Digital Enabler for Sustainable Infrastructure”, link: <https://bit.ly/3TR6FvW>
Para más detalle de cómo el blockchain puede aportar transparencia y responsabilidad en el marco del Acuerdo de París ver: Schletz, M., Franke, L. A., & Salomo, S. (2020). “Blockchain Application for the Paris Agreement Carbon Market Mechanism – A Decision Framework and Architecture”. Sustainability, 12(12), 5069.

presentación de cierta documentación, se genera un SolarCoin que es transferido al productor de dicha energía y todo queda registrado en la blockchain. Los beneficiarios pueden recibir la criptomoneda en cualquier billetera virtual y venderla libremente, implicando una fuente de ingreso adicional que favorece, la adopción y expansión de esta fuente de energía renovable.

Sustainable tokens (tokens sostenibles)

Podríamos clasificar como tokens sostenibles a aquellos proyectos basados en blockchain que otorgan tokens y cumplen con los siguientes requisitos:

- 1) Trabajar por la sostenibilidad del ambiente: token respaldado por proyectos o acciones que tengan un impacto positivo y sostenible en el ambiente.
- 2) Financiar proyectos sostenibles: emisión, comercialización o intercambio de los tokens que permita financiar o incentivar proyectos sostenibles.
- 3) Trazabilidad y transparencia: que faciliten y garanticen información fidedigna sobre un proyecto sostenible y de impacto positivo.

Treefy, Plastic Bank o SolarCoin son algunos ejemplos de este nuevo tipo de aplicaciones de la tecnología blockchain de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Eje social: acceso digital y libertad financiera

La tecnología blockchain ofrece alternativas innovadoras para abordar diferentes problemáticas sociales como las relacionadas con la inclusión financiera y la libertad individual y financiera.

Inclusión financiera: blockchain y sus potenciales aplicaciones

Según el Banco Mundial, la inclusión financiera significa que individuos y empresas tengan acceso a productos y servicios financieros útiles y asequibles que satisfagan sus necesidades —transacciones, pagos, ahorros, créditos y seguros— ofrecidos responsable y sosteniblemente.⁴¹ En esta línea, la inclusión financiera es considerada herramienta clave para reducir la extrema pobreza y aumentar la prosperidad e incluso facilitar la consecución de varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Estimaciones del Banco Mundial muestran que actualmente un 76% de la población mundial es propietario de una cuenta bancaria (datos del 2021) y que esta cifra experimentó un crecimiento del 50% en diez años (2011-2021). No obstante, con alrededor de un 24% de la población global no bancarizada, queda aún mucho por hacer en pos de la inclusión financiera.⁴²

Las *fintech*, como modelo de negocios disruptivo, han permitido un gran avance en cuestiones de inclusión financiera. Estas compañías son una alternativa real y conveniente particularmente para aquellas personas no bancarizadas, princi-

41 Banco Mundial (29.03.2022). *Financial Inclusion. Financial inclusion is a key enabler to reducing poverty and boosting prosperity*. Disponible en: <https://www.worldbank.org/en/topic/financialinclusion/overview>

42 Banco Mundial (2021). "The Global Findex Database 2021: Financial Inclusion, Digital Payments, and Resilience in the Age of COVID-19". Recuperado de: <https://www.worldbank.org/en/publication/globalfindex>

palmente debido a su gratuidad, su digitalización, la simpleza de sus aplicaciones, su rapidez y los requisitos mínimos de documentación tanto para abrirlas como para operar.

Las criptomonedas y otras aplicaciones blockchain que conforman un subgrupo dentro de las *fintech* también pueden contribuir a la inclusión financiera. En este contexto, pueden ofrecer soluciones de valor que colaboren con la reducción de costos y barreras de acceso al mercado financiero nacional e internacional, o reducir la asimetría de información que existe en los mercados de crédito y seguros lo cual aumentaría sus niveles de eficiencia y por ende la accesibilidad a sus servicios financieros. En particular, Carballo (2020) estima que la tecnología blockchain puede contribuir en cuatro categorías de servicios financieros: pagos y transferencias, ahorro, crédito y seguros.⁴³

Acceso al mercado y ahorro

Siguiendo esta lógica, las blockchain y en particular las monedas digitales pueden facilitar (democratizar) el acceso y la tenencia de herramientas y activos financieros a bajo costo (rápido, seguro, sencillo, sin mayores requisitos).⁴⁴ Asimismo, en economías con altos niveles de inflación, inestabilidad económica, límites a la conversión de moneda local a activos más estables y desconfianza generalizada en las instituciones, los servicios financieros digitales y las criptomonedas (estables) pueden facilitar la reserva de valor o simplemente actuar como medio de cambio alternativo para realizar distintas transacciones.⁴⁵

LEMON

En Argentina, existe Lemon, una plataforma (exchange) que permite intercambiar criptomonedas por dinero fiat o por otras criptomonedas.⁴⁶ Esta fintech que integra cripto, a través de su aplicación y tarjeta VISA asociada, presenta una alternativa de servicio financiero que permite transaccionar criptomonedas, convertir pesos argentinos en distintas monedas digitales, enviar dinero o criptomonedas entre amigos dentro de la aplicación y realizar compras en pesos argentinos u otra moneda en cualquier comercio que acepte tarjetas. Este ejemplo demuestra cómo, de manera rápida y sencilla, mediante la descarga de una aplicación, las personas pueden acceder a servicios financieros y, a su vez, a mercados de cripto activos transaccionados en ellos a muy bajo costo.

Por último, las monedas virtuales y otros servicios financieros basados en blockchain promueven la competencia e innovación, empujando a los servicios financieros tradicionales, como bancos y aseguradoras, pero también bancos centrales y organismos multilaterales (como el Banco de Pagos Internacionales que agrupa a los principales bancos centrales a nivel mundial) a desarrollar canales digitales más eficientes e innovar. Por ejemplo, a partir de las cripto, los bancos centrales han empezado a interesarse activamente por la emisión de monedas digitales⁴⁷ y algunos países han comenzado a experimentar y han adoptado criptomonedas como monedas de curso legal.⁴⁸

43 Carballo, I. E. (2020). Blockchain e inclusión financiera: sus vínculos teóricos y oportunidades para el comercio exterior. *Revista Integración & Comercio*, N° 46, 107-128, pp. 116. Link: <https://bit.ly/3DaPAWK>

44 En este punto, las Fintech en general permitieron el aumento de personas con acceso a una cuenta bancaria.

45 Infobae (17.04.2022). *¿Por qué en la Argentina cada 100 adultos hay 12 que compraron criptomonedas por encima del promedio de la región?* Disponible en: <https://bit.ly/3VZbR2x>

46 Lemon, link: <https://www.lemon.me/>

47 Banco Interamericano de Desarrollo (07.07.2022). *¿Existe un futuro para las monedas digitales emitidas por los bancos centrales en América Latina y el Caribe?* Disponible en: <https://bit.ly/3NkOWuR> Visual Capitalist (25.08.2022). *Visualized: The State of Central Bank Digital Currencies*. Disponible en: <https://bit.ly/3gJbrgl>

48 El Salvador incorporó en 2021 el Bitcoin como moneda de curso legal. También lo hizo en 2022 la República Centroafricana y otros países están analizando emitir monedas virtuales.

Mercado crediticio

Desde el punto de vista económico, la información asimétrica e incompleta sobre el historial crediticio y de transacciones de los usuarios, restringe la oferta de crédito, dañando particularmente a los más vulnerables.

Por un lado, las blockchain podrían ofrecer soluciones para reducir dichas brechas de información mediante la generación de historiales crediticios transparentes, inmutables y seguros de los agentes económicos, que podrían ser transportados por el cliente a diferentes instituciones financieras. Esto sería beneficioso para las entidades o potenciales acreedores ya que estos podrían acceder a información y evidencia certera sobre el perfil del cliente y tomar decisiones más ágiles —o automatizadas— disminuyendo los tiempos de gestión, asignación, riesgos crediticios, etc. De igual forma, también beneficiaría a los potenciales usuarios ya que estos podrían migrar su información crediticia (“mostrar su reputación”) a otras entidades o prestamistas y conseguir mejores tasas o celeridad en los desembolsos. Todos estos cambios conducirían a una mejora en el funcionamiento global de la industria mediante la reducción de costos de entrada vinculados a la falta de información sobre el historial de los agentes y promovería la competencia en el mercado.

Por otro lado, blockchain también podría fomentar la inversión de individuos y disminuir las barreras al flujo de dinero, posibilitando la asignación de capital a proyectos con mayor rentabilidad como por ejemplo los préstamos directos entre dos agentes (P2P o peer-to-peer). Esta tecnología también podría derribar las barreras de flujos internacionales de dinero, posibilitando la asignación de capital en los proyectos con mayores retornos (mejor asignación del capital).

ETHICHUB

EthicHub, basada en tecnología blockchain, tiene como objetivo conectar a agricultores de café mexicanos con fuentes de financiación internacionales a intereses accesibles.⁴⁹ El lema de la empresa es “romper las barreras del dinero”, permitiendo su flujo a lugares donde el capital rinde más. A su vez, EthicHub permite, mediante la generación de un historial crediticio y de pagos, que los financiadores cuenten con información relevante sobre los agricultores y puedan seguir invirtiendo en sus proyectos.⁵⁰

Mercado de seguros

En el mercado de seguros la tecnología blockchain y sus aplicaciones —como los contratos inteligentes— pueden, por un lado, colaborar con la automatización de cobros reduciendo los tiempos, las potenciales fricciones y burocracias sobrevinientes de la relación asegurado-asegurador. Por otro lado, el registro de información precisa e incorruptible permite a todas las partes acceder a datos verificables de manera rápida y accesible, compartir los historiales de los asegurados y optimizar el manejo de los riesgos.

49 EthicHub, ver: <https://www.ethichub.com/es/?hsLang=es>

50 EthicHub. ¿Qué hacemos en EthicHub?. Disponible en: <https://bit.ly/3W1BGPz>

OPENIDL

OpenIDL es una blockchain de la Asociación Americana de Servicios de Seguro (American Association of Insurance Services-AAIS) que conecta datos de la industria y permite a sus miembros automatizar el reporte regulatorio y el cumplimiento de las normas a las que están sujetos, al mismo tiempo que mejora la eficiencia y precisión para aseguradores y departamentos de seguro de los estados.⁵¹

Remesas

Las remesas, dinero que los migrantes envían a familiares en sus países de origen, son destinadas principalmente a gastos de alimentación, servicios de salud, educación, sanidad, entre otros. Por su impacto en los países y familias que lo reciben, son considerados como los servicios financieros con mayor potencial para impactar en la economía y en la inclusión financiera, y a su vez, una de las áreas donde blockchain podría tener un mayor impacto inmediato, dada la complejidad y los altos costos de los sistemas actuales.

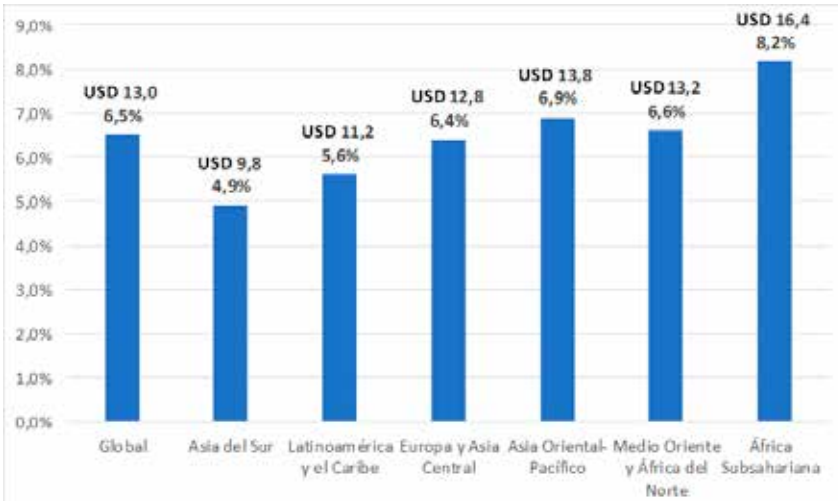
Según el International Fund for Agricultural Development (IFAD, 2017), unos USD 529 mil millones fueron enviados en concepto de remesas a países en desarrollo durante el 2018⁵² (cifra que más que triplicó el monto de la asignación oficial de asistencia para el desarrollo) de los cuales un 75% fueron destinados a cubrir necesidades inmediatas.⁵³ Estimaciones indican que alrededor de 200 millones de trabajadores migrantes envían remesas a sus casas y unos 800 millones son los que se benefician de esos flujos. Asimismo, en promedio, los trabajadores envían entre 200 y 300 dólares a sus casas cada uno o dos meses siendo que dicha cifra representa solo el 15% de lo que ellos ganan, pero el 60% del ingreso estimado de la casa que lo recibe.⁵⁴

Diversas fuentes coinciden en la importancia de estos flujos de dinero para los países en desarrollo, pues contribuyen a la reducción de la pobreza y al crecimiento de la economía.⁵⁵ En particular, tienen un efecto muy significativo para las familias que lo reciben, son el principal vehículo directo del migrante para ayudar a su familia, contribuyendo a reducir la pobreza, mejorar la salud, la nutrición, la educación, la vivienda, la sanidad y a aumentar la resiliencia frente a la incertidumbre (ahorros).⁵⁶

Si bien existe un consenso generalizado sobre la importancia de las remesas para países y economías familiares de bajos ingresos, también se admite que su costo es excesivamente alto. Según estimaciones del Banco Mundial, el costo porcentual promedio global de enviar 200 dólares equivalía al 6.5%, es decir 13 dólares (ver figura 3 debajo). El Objetivo 10 de las Naciones Unidas busca, para 2030, reducir a menos del 3% los costos de transacción de las remesas de los migrantes y eliminar los corredores de remesas con costos superiores al 5%, valores muy distantes a los actualmente vigentes.

- 51 OpenIDL, ver: <https://openidl.org/>
- 52 Según estimaciones del Banco Mundial las remesas a países de bajo y medio ingreso llegaron a alcanzar alrededor de USD 605 mil millones en 2021. Ver: Banco Mundial (11.05.2022). *A war in a pandemic – Implications of the Ukraine crisis and COVID-19 on global governance of migration and remittance flows*. Disponible en: <https://bit.ly/3D9kZZH>
- 53 IFAD (2017). "Remittances, investments and the Sustainable Development Goals". Disponible en: <https://bit.ly/3VZ2IMS>
- 54 IFAD (15.06.2022). "12 reasons why remittances are important". Disponible en: <https://bit.ly/3D8oFel>
- 55 Para más información sobre la reducción de la pobreza, ver: Banga, R., & Sahu, P. K. (2010). "Impact of remittances on poverty in developing countries. *UNCTAD, United Nations, Switzerland*, 35(2), 45-68. Para más información sobre la relación entre remesas y crecimiento, ver: Francois, J. N., Ahmad, N., Keinsley, A., & Nti-Addae, A. (2022). "Heterogeneity in the long-run remittance-output relationship: Theory and new evidence". *Economic Modelling*, 110, 105793. Este estudio analizó 80 países en desarrollo entre 1970 y 2014 encontró que un aumento del 10% en las remesas estaría asociado con un aumento permanente del 0,66 % en el PIB. No obstante, este resultado no es uniforme entre países y existe una gran heterogeneidad.
- 56 IFAD (2017), por su parte, sostiene que las remesas impactan y contribuyen con los ODS a nivel doméstico ayudando a reducir la pobreza (ODS 1), el hambre (ODS 2), a conseguir una buena salud y bienestar (ODS 3), educación de calidad (ODS 4) y la equidad de género (ODS 5); a nivel local mediante el acceso al agua limpia y a la sanidad (ODS 6), a la energía limpia y asequible (ODS 7), al consumo y producción responsable (ODS 12) y 13 a la acción climática (ODS 13); a nivel nacional mediante el trabajo decente y el crecimiento económico (ODS 8) y la reducción de la inequidad (ODS 10) e internacional mediante el compromiso conjunto de trabajar para aprovechar el impacto de las remesas en el desarrollo (ODS 17).

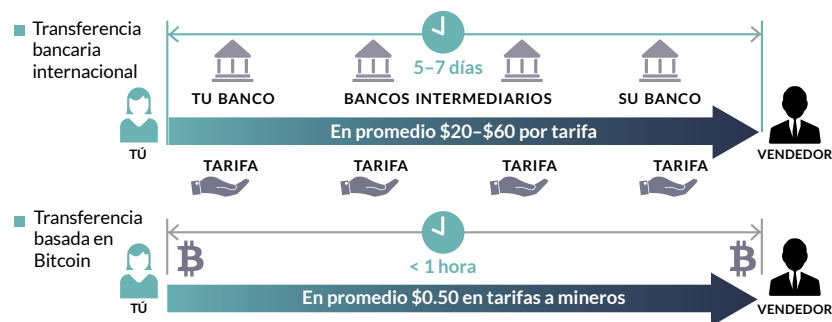
Fig. 3: Costo de enviar 200 dólares: porcentaje del total y en dólares (4°T del 2020)



Fuente: Banco Mundial⁵⁷

Por su parte, OCDE (2019) estima que una transferencia internacional a través de entidades bancarias cuesta USD 20-60 y tarda, en promedio, entre 5 a 7 días (ver figura 4 debajo⁵⁸), mientras que una transferencia libre de intermediarios por medio de la red Bitcoin (u otra criptomoneda), tiene un costo promedio de USD 0,50 (cincuenta centavos de dólar) y tarda menos de una hora, reduciéndose ampliamente los costos monetarios y la espera.

Fig. 4: Comparación entre transferencia bancaria y Bitcoin (en USD)



Fuente: OCDE (2019)

Teniendo en cuenta los valores transaccionados mundialmente en remesas y su importancia para los países en desarrollo y las familias que reciben ese dinero, la reducción de los costos y tiempos de las transacciones podría tener un impacto muy relevante en estas economías. Ante esta situación, blockchain y las monedas virtuales emergen como una valiosa herramienta para enviar dinero en remesas casi al instante a bajo costo.

57 Banco Mundial (2021). "Resilience COVID-19 Crisis Through a Migration Lens Migration and Development" Brief 34. Recuperado de: <https://bit.ly/3DbDywf>

58 OCDE (2019). *OECD Blockchain Primer*. Recuperado de: <https://bit.ly/3gJ3RCJ>

ALIPAYHK Y BANK CHATERED: REMESAS ENTRE HONG KONG Y FILIPINAS

AlipayHK (empresa del conglomerado chino Aliabab que ofrece servicios de pagos digitales en Hong Kong), en joint venture con Bank Chatered, lanzaron en 2018 el primer servicio de remesas transfronterizo basado en tecnología blockchain: GCash.⁵⁹ GCash es una billetera digital, operada por la compañía filipina de telecomunicaciones Globe Telecom, que permite recibir remesas enviadas por migrantes filipinos de AlipayHK en Hong Kong de manera segura, rápida (casi instantánea) y a un tipo de cambio competitivo, usando la tecnología de blockchain.

El servicio funciona con la interacción de dos billeteras virtuales, un banco y una red blockchain. Los usuarios de AlipayHK envían remesas a GCash a Filipinas y a su vez Bank Chatered proporciona el servicio de liquidación de divisa de forma instantánea para que dichas transacciones se realicen en tiempo real.⁶⁰ Cuando un usuario envía una solicitud de remesa, todos los participantes de la red (AlipayHK, GCash y Standard Chartered Bank) son notificados. Debido a la tecnología blockchain, la verificación y ejecución de la transacción ocurren en simultáneo y permiten a las partes involucradas (remitente y destinatario) rastrear el dinero durante todo el proceso, desde su envío hasta su recepción, sin la necesidad de intermediarios.

Libertad financiera: potencial como herramienta inclusiva y democratizante

Cómo se detalló anteriormente, en términos de accesibilidad, inclusión y democratización cabe resaltar que, a diferencia del sistema monetario tradicional, las blockchain pueden ser utilizadas por cualquier persona en cualquier parte del mundo, solo con tener un smartphone y conectividad móvil.

En cuanto a libertad financiera, la tecnología blockchain y en particular las monedas virtuales permiten conservar y enviar valor a través del tiempo y el espacio, sin limitaciones institucionales. Asimismo, la descentralización propia de la tecnología, permite que las transacciones se lleven a cabo anónimamente sin ninguna tercera parte más allá de las interesadas, lo que implica que su uso no puede ser bloqueado ni controlado por ninguna entidad o autoridad. Esto adquiere otra significación y mayor relevancia en países con gobiernos autoritarios o en zonas de conflicto, ya que facilita el acceso inmediato a recursos monetarios los cuales ofician, en situaciones extrema de vulnerabilidad, como un “salvavidas” concreto para millones de familias.

Algunas consideraciones

Si bien el blockchain es una herramienta con gran potencial en la industria financiera, aún enfrenta importantes desafíos. Por un lado, para poder fomentar la inclusión financiera, el acceso y la democratización de los servicios, blockchain debe ser conocida y comprendida. La inclusión financiera será posible en tanto se hayan logrado niveles de conocimiento y confianza suficiente de la ciudadanía para operar con ella.

59 Inquirer.net (2018), *AlipayHK and GCash launch cross-border remittance service powered by Alipay's blockchain technology*, 26/06/2018, link: <https://bit.ly/3DaQgeV>

60 Ver: Standar Chatered (25.06.2018). *We have been appointed by Ant Financial as core partner bank for its new blockchain cross-border remittance service*. Recuperado de: <https://bit.ly/3SE6gMO>

El alto número de delitos de *phishing* y estafas en el mercado financiero tradicional hace suponer que los riesgos son aún mayores para los proyectos basados en blockchain, ya que estos implican un grado adicional de complejidad y desconocimiento. Facilitar su adopción y utilización, reconocer y reducir estos riesgos para los usuarios, son otros importantes retos que debe afrontar esta industria.

Por último, es importante remarcar que, si bien las monedas virtuales tienen grandes ventajas a la hora de reducir costos de transacciones y accesibilidad haciendo posible la inclusión financiera de millares de personas, la falta de regulación y el anonimato de sus participantes pueden facilitar actividades ilícitas o dañinas para la sociedad en su conjunto, como por ejemplo, el lavado de activos, la evasión fiscal, el financiamiento del terrorismo, el tráfico ilegal, la trata de personas, entre otros.⁶¹

Eje gobernanza: el valor de la descentralización

La gobernanza es una estructura de reglas, procesos y procedimientos de un determinado sistema que organiza el proceso de la toma de decisiones para cumplir con los objetivos para los cuales ha sido creada.

La mayoría de las instituciones actuales utilizan mecanismos de gobernanza centralizada, es decir, la autoridad para definir la forma de organizarse y tomar decisiones está concentrada solo en algunos actores. Existen diferentes tipos y formas de llevar adelante esa gobernanza centralizada por ejemplo, los gobiernos estatales, las direcciones empresariales, juntas de organizaciones de la sociedad civil, etc.

En teoría, uno de los aspectos positivos de este tipo de gobernanza reside en que el cambio suele llevarse adelante sin resistencia, haciendo más sencilla la resolución de problemas. Sin embargo, la dificultad surge cuando existe una falla en la autoridad central, ya que el resto de la estructura no podrá resolverla por sí misma e incluso posiblemente sea incapaz de detectarla en primera instancia. Asimismo, la centralización dificulta la toma de decisiones inclusivas cuando surgen realidades complejas que requieren de enfoques integrados, sinérgicos o simplemente colaborativos entre diferentes partes o sistemas que pueden o no compartir visión, misión o valores.

Actualmente, con los avances tecnológicos, han comenzado a surgir formas de gobernanzas diferentes a las adoptadas históricamente. La blockchain es una tecnología disruptiva que desafía la gobernanza centralizada y propone soluciones a muchas de sus dificultades. El hecho de que cada nodo contenga toda la información de la red no solo impide (o vuelve muy costoso) controlar la red desde un solo nodo sino que, además, aporta mayor seguridad y estabilidad a la misma, puesto que si falla un punto o nodo el sistema en general no colapsa.⁶²

La tecnología blockchain de gobernanza descentralizada aporta alternativas a las formas de organización tradicionales sobre las que se basa la sociedad: los contratos y las organizaciones. Los casos de los contratos inteligentes (Smart Contracts) y las organizaciones autónomas descentralizadas (DAOs) son algunos de los ejemplos que materializan un cambio en el paradigma de la gobernanza.

61 No obstante, si bien la tecnología es anónima en tanto no permite vincular la dirección de la billetera con la persona, una vez que logra establecerse esa vinculación el historial de transacciones guarda el registro de todos los movimientos entre billeteras por lo que puede ser utilizado como prueba para procedimientos judiciales. Un caso que muestra como el blockchain sirve como prueba es el caso SilkRoad (mercado sobre blockchain donde se transaccionaban bienes ilegales). Ver: ComputerWord (09.02.2015). *Four technologies that betrayed silk roads anonymity*. Recuperado de: <https://bit.ly/3f6UGve>

62 Es factible preguntarse ¿Quién está detrás de la gobernanza de una blockchain? Generalmente, haciendo un esquema simplificado de los ecosistemas blockchain, la gobernanza de una red blockchain está basada en cuatro comunidades fundamentales: 1) Desarrolladores: técnicos y programadores que administran y mantienen el código central de la blockchain. 2) Operadores de nodos: usuarios que en sus ordenadores tienen una copia completa del registro de las bases de datos de la red y deben ser consultados por los desarrolladores ante cambios ya que ellos deben ejecutar las operaciones en los nodos; 3) Dueños de tokens: son quienes forman parte del ecosistema al poseer tokens de la blockchain y, dependiendo del mecanismo de consenso específico, participan en la gobernanza siendo su participación en la gobernanza proporcional a su participación porcentual en tokens; 4) Organización Fundadora: es el equipo "fundador" de la plataforma que asume diferentes roles para administrar la red, sea obteniendo fondos para financiar el proyecto, generando campañas de marketing y/o mediando entre los diferentes actores de la comunidad y los inversores.

Contratos inteligentes

Un contrato inteligente es un contrato digital, escrito en código informático sobre una red blockchain, que se ejecuta automáticamente en caso de cumplirse ciertas condiciones y términos predeterminados. Suelen ser utilizados para automatizar acuerdos sin necesidad de intermediarios o pérdidas de tiempo o para automatizar procesos, ejecutando acciones cuando se cumplen ciertas condiciones. Por ejemplo, puede ser aplicado para el pago a proveedores en la cadena de suministros cuando se cumplen una o varias condiciones.

Los contratos inteligentes no son radicalmente diferentes a los contratos tradicionales pero lo que cambia es su forma de redacción y ejecución. Los términos del contrato son escritos mediante códigos que se ejecutan automáticamente cuando diferentes nodos verifican que se han cumplido las condiciones preestablecidas (mediante un sistema descentralizado). Sus principales beneficios son la automatización, la reducción de tiempo y burocracia, la ausencia de intermediarios, su precisión, su inviolabilidad, transparencia y descentralización (ver tabla 2 debajo). No obstante, sus ventajas pueden volverse debilidades a la hora de corregir errores y revertirlos en el sistema o salvar errores de los programadores.

Tabla 2: diferencia entre un contrato inteligente y un contrato legal tradicional

Contrato Inteligente	Contrato legal tradicional
Autónomo y autosuficiente	Dependiente de terceros
Seguro e inviolable	Susceptible a errores y fraudes
Descentralizado	Centralizado

Actualmente, los contratos digitales están programados para funcionar y autoejecutarse sobre activos digitales y no sobre activos físicos ya que no pueden corroborar por sí mismos los cambios en el mundo real. Una tecnología que, mediante hardware (sensores), software (con capacidad de procesamiento de información recolectada) y conexión a internet, colabora con realizar la conexión entre el mundo real y el mundo digital es el Internet de las Cosas. Sin embargo, sus aplicaciones son aún incipientes por lo que este tipo de contratos coexisten y en algunos casos complementan a los contratos tradicionales.

Organización autónoma descentralizada

Una Organización Autónoma Descentralizada o DAO (por sus siglas en inglés) es un tipo de estructura organizacional a través de la cual un conjunto de individuos coordina su colaboración en torno a un(os) objetivo(s) común(es) de forma autogestionada o autogobernada, global (sin fronteras) y libre (sin burocracias externas a la misma organización). Este tipo de organizaciones se construyen sobre contratos inteligentes en los cuales se definen sus reglas, su organización y su administración.

A diferencia de las organizaciones tradicionales, una DAO no tiene una estructura jerárquica, ni directores o presidentes que puedan centralizar la toma de decisiones. Aquí, las determinaciones pasan por la deliberación de todos sus miembros, quienes autorizan —o no— cada iniciativa, transacción o movimiento. De esta forma, cada decisión surge de propuestas y se somete a votaciones, para garantizar el rol activo, la voz y el voto de cada miembro de la organización. De hecho, existen distintos modelos que establecen la participación y membresía en este tipo de organizaciones, que auto determinan libremente la forma en la que se vota, se toman las decisiones y se llevan adelante otras acciones propias de la DAO.

Las principales características de las DAO son:

1. Su código abierto permite que todas las transacciones queden registradas y almacenadas en la red blockchain, lo que las hace transparentes e incorruptibles.
2. Su descentralización ya que no tienen estructuras jerárquicas sino basadas en funciones.
3. Su autodeterminación para establecer su propio sistema de gobernanza y la forma en que se toman las decisiones, generalmente basadas en protocolos de consenso que involucran a todos sus miembros.
4. Su posibilidad de crear tokens (o activos digitales) de intercambio para garantizar la sostenibilidad económica y para brindar poder de voz y voto a sus poseedores.
5. Su uso de los Smart Contracts que codifican y programan acciones, para ser ejecutadas según parámetros determinados que permiten la vinculación entre los integrantes o el desarrollo de proyectos comunes.

El fenómeno de las DAOs es reciente y ha ido creciendo, desde sus primeras experiencias aplicadas a criptomonedas, hasta sus aplicaciones más recientes para constituir organizaciones enfocadas en diversas temáticas y fines. No obstante, todavía existen numerosos desafíos no resueltos que obstaculizan la adopción del concepto en casos prácticos. Uno de los principales desafíos a resolver es el desconocimiento y la consecuente desconfianza que existe sobre este tipo de organizaciones. Otro de los desafíos está relacionado con la elección del tipo de gobernanza adoptado por las organizaciones autónomas descentralizadas. Debido a que muchas DAOs se rigen por procesos deliberativos y de votación general, suelen ser lentas para tomar decisiones y ejecutar acciones. Un problema derivado de esta situación es la falta de participación e interés de muchos usuarios en las votaciones, lo que podría generar que las decisiones no representen los intereses de toda la comunidad.

Otro desafío al que se enfrentan las DAO corresponde al ámbito legal. El marco regulatorio de este tipo de organizaciones es incierto y presenta un dilema para los estados a la hora de legislar y regular este tipo de actividades lo cual contribuye a desacelerar la adopción de este tipo de instrumentos por parte de numerosos usuarios que aún no tienen la confianza suficiente en este nuevo paradigma de organización.

Finalmente, las DAOs son aún vulnerables a ataques y hackeos, dado que siguen siendo códigos y protocolos susceptibles de ser modificados o abusados por sus miembros o agentes externos (particularmente problemático en blockchain donde el daño realizado resulta inmutable e irreversible). Probablemente,

las cuestiones relativas a la seguridad de las organizaciones vayan siendo abordadas y mejoradas conforme la adopción de este tipo de aplicaciones, pero a la fecha constituyen un gran desafío a sortear para generar la suficiente confianza en la tecnología.

Los Estados nación y la digitalización gubernamental

Todavía hay brechas que transitar a nivel internacional para facilitar el desarrollo y aplicación de blockchain por parte de los Estados nación y los organismos internacionales. No obstante, existen algunas experiencias de adopción en diferentes países que vislumbran el uso que puede dárseles a estas tecnologías y cómo cada vez más se están eligiendo estas herramientas para abordar temáticas públicas.

EL CASO DE ESTONIA

Estonia, líder global en materia de digitalización, encabeza el ranking de digitalización de servicios públicos⁶³ con un 99% de los trámites públicos digitalizados, ocupó en 2021 el 7º lugar en índice de Economía Digital y Sociedad (*Digital Economy and Society Index*⁶⁴) de la Unión Europea.

Este país comenzó a construir su sistema de gobierno electrónico en el año 1997, en el 2001 sus ciudadanos podían declarar sus impuestos online, en 2002 adquirían su identidad y firma digital y en 2005 accedían al voto digital.

El sistema digital de Estonia se basa principalmente en tres componentes:

- 1) La identidad virtual de sus ciudadanos quienes con un número único pueden acceder a todos los servicios públicos del país y firmar digitalmente (firma con igual validez que una hológrafa);
- 2) El sistema X-Road del año 2021, software de estructura descentralizada (como alternativa a una base de datos centralizada), organiza el intercambio efectivo de información estandarizada y la seguridad entre las instituciones, bajo el principio de requerir sólo por una vez los datos de las personas y habilitar a todos los organismos tanto públicos como privados a tener acceso a la información y habilitar al ciudadano el acceso a información acerca de las entidades que consultan información sobre su persona aumentando la transparencia del uso de datos por parte de los gobiernos;⁶⁵
- 3) La blockchain KSI que asegura la protección y la integridad de la información electrónica del Estado fue incorporada en 2008 y comenzó a operar en escala en el año 2012.⁶⁶

Por ejemplo en el 2012, Estonia migró el sistema de Registro de Sucesiones del Ministerio de Justicia a la plataforma KSI, y en la actualidad ya hay varios registros públicos funcionando sobre esta blockchain, como el Registro de Salud, el Registro de la Propiedad, el Registro de Negocios, el Registro de Sucesiones, el Sistema Digital de la Corte de Justicia, y su Boletín Oficial (PWC, 2019).⁶⁷

63 e-Estonia (15.11.2021). *Estonia – a European and global leader in the digitalisation of public services*. Disponible en: <https://bit.ly/3swkELV>

64 European Commission (2022). *The Digital Economy and Society Index (DESI)*. Disponible en: <https://bit.ly/3st5JcF>

65 Anna Píperal (s/f). What a digital government looks like. Charla Ted en Youtube. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=kaU7IPIg9PA>

66 Para más información, visitar el sitio web de Estonia: E-Estonia. KSI Blockchain. Disponible en: <https://bit.ly/3Dg1e30>

67 PWC (2019). *Estonia – the Digital Republic Secured by Blockchain*. Disponible en: <https://pwc.to/3fayQXJ>

Para Estonia, la implementación de la tecnología blockchain en el gobierno fue no sólo estratégica, sino también prioritaria, por temas de ciberseguridad tras el ciberataque del 2007 que afectó los servicios electrónicos del país dejándolo sin acceso a servicios y portales públicos por horas. Tras dicho infortunio la seguridad del sistema se volvió crítica. Más allá de sus desarrollos con blockchain, Estonia posee “embajada de datos” en otros países, en los cuales almacena copias de seguridad en blockchain sobre activos digitales cruciales para el país.

ARGENTINA

Argentina es un país atrasado en temas de digitalización. En particular, ocupa el lugar número 59 de 63 en el IMD World Digital Competitiveness Ranking 2021⁶⁸ o el puesto 68° entre 99 casos, según el índice multidimensional de digitalización de BBVA Research, DiGiX 2022.⁶⁹

En los últimos años Argentina se destacó a nivel internacional por figurar en los rankings mundiales de mayor uso de criptomonedas. Esto es un típico ejemplo de adopción *bottom-up*, en el que la misma ciudadanía presiona para poner en la agenda del Estado el asunto de la tecnología blockchain.

En esta dirección, el Estado Nacional, jurisdicciones subnacionales y algunos organismos estatales específicos, comenzaron a explorar la tecnología, desarrollando proyectos de aplicación de diversos alcances y campos de acción. Uno de estos casos es la Blockchain Federal Argentina (BFA), una plataforma abierta que integra múltiples servicios y aplicaciones sobre blockchain, para ser utilizada por el sector público, académico, privado y de la sociedad civil, impulsado por la Dirección Nacional del Registro de Dominios de Internet⁷⁰, la Cámara Argentina de Internet (Cabase), y la Asociación de Redes de Interconexión Universitaria (ARIU).⁷¹

Según la web oficial de la iniciativa, existen 23 casos de aplicación de servicios sobre BFA, como certificaciones de imágenes y documentos, trazabilidad de alimentos, validación de títulos, verificación de contratos, entre otros. Las transacciones en BFA no tienen costo y su modelo de consenso se basa en prueba de autoridad (PoA o *proof of authority*), donde sólo una determinada cantidad de nodos autorizados pueden validar los bloques los cuales no compiten, ni reciben recompensa alguna. El almacenamiento de la información y documentos se mantiene fuera de los bloques, los cuales solo resguardan los *hashes* de esa información. Cada usuario es responsable de almacenar su documentación como considere conveniente.

CHILE: ENERGÍA ABIERTA

La Comisión Nacional de Energía de Chile incorporó tecnología blockchain con el objetivo de certificar cierta información del sector energético y facilitar su difusión confiable. Según el sitio oficial, esta herramienta funciona como un “notariado digital” ya que permite certificar que la información brindada en dicho portal no fue alterada ni modificada y, a su vez, generar un registro de su existencia.⁷² Una vez vinculada la información a la blockchain, se emite un “certificado de confianza” que puede ser visualizado por la ciudadanía en la página oficial.

68 Statista (2022). *Position of Argentina in the Digital Competitiveness Ranking in 2021, by factor*. Disponible en: <https://bit.ly/3UetF8n>

69 BBVA Research (07.06.2022). *Actualización de DiGiX 2022: índice multidimensional de digitalización*. Disponible en: <https://bit.ly/3D92TXR>

70 Dependiente de la Secretaría Legal y Técnica de la Presidencia de la Nación.

71 Blockchain Federal Argentina. Web oficial. Disponible en: <https://bfa.ar/bfa/que-es-bfa>

72 Energía Abierta. Blockchain. ¿Por qué es importante?. Disponible en: <http://energiaabierta.cl/blockchain/por-que-es-importante/>

Energía Abierta usa la red Ethereum para trackear datos relativos al sector energético como concesiones, proyectos, instalaciones eléctricas, instalaciones inscritas de generación de energía distribuida. Los certificados son accesibles en la web oficial y exportables en diferentes formatos (ver figura 5 debajo).⁷³

Fig. 5: Modelo de certificado de confianza basado en blockchain



Fuente: Datos Abiertos de Energía de Chile

73 Para ver los certificados disponibles ingresar a: <http://energiaabierta.cl/certificados/>



S E C C I Ó N T R E S

IMPACTO AMBIENTAL DE BLOCKCHAIN

IMPACTO AMBIENTAL DE BLOCKCHAIN

Toda actividad humana, toda tecnología genera, en mayor o menor medida, impacto ambiental. Blockchain no es diferente. El objetivo de esta sección es analizar el impacto ambiental de la blockchain, y su principal aplicación en la actualidad, las criptomonedas, desde dos perspectivas: las emisiones de carbono, debido al consumo de energía, y la generación de residuos electrónicos.

Blockchain en general no produce un impacto ambiental que diferencie de otros sistemas como las bases de datos centralizadas. Sin embargo, las blockchain públicas masivas, particularmente aquellas que utilizan la prueba de trabajo (*proof of work*, PoW) como mecanismo de consenso consumen mucha energía (generada con altos porcentajes de combustibles fósiles), produciendo una significativa cantidad de emisiones de carbono y residuos electrónicos.

Originalmente, las dos principales criptomonedas, Bitcoin y Ethereum, eran blockchain públicas que utilizaban PoW, produciendo una importante huella ecológica. Parte del impacto ambiental fue reducido a partir de la exitosa migración de Ethereum a PoS (*proof of stake*), proceso conocido como “the Merge”, que implicó una reducción aproximada del 99,95% de su consumo de electricidad. Sin embargo, Bitcoin, la criptomoneda más grande, continúa utilizando PoW y no se ha planteado aún modificar su mecanismo de consenso.

Por diseño, PoW implica una competencia de suma cero (uno gana y los otros pierden) entre los mineros por resolver un acertijo computacionalmente complejo (sin ningún uso práctico⁷⁴) y costoso, debido al alto consumo energético requerido para solucionarlo. El hecho de que el acertijo sea difícil y costoso es lo que garantiza la seguridad del sistema, y la recompensa por resolver el acertijo (una criptomoneda), es lo que incentiva a los mineros a participar de esta competencia.

Cuanto más alto es el valor de recompensa, más incentivo tienen los mineros de resolver el acertijo, aumentando la competencia entre mineros, el consumo energético y los residuos electrónicos (debido a la necesidad constante de actualizar el equipamiento para ser extremadamente eficientes), sin generar ninguna mejora de eficiencia en el sistema.

Por ende, PoW siempre conlleva un alto consumo energético, que a su vez genera emisiones debido a la utilización de fuentes no renovables de energía dado que la mayoría de los mineros se encuentran ubicados en países con matrices energéticas hidrocarburíferas, que tornan a Bitcoin y otras criptomonedas poco sostenibles.

En términos de impacto ambiental, PoW es el problema, no blockchain. Existen sistemas muy eficientes de blockchain, tanto públicos como privados, que consumen poca energía, y la exitosa migración de Ethereum ha demostrado que existen alternativas viables para los sistemas ya establecidos. Como dice el referente cripto Bankless, “la solución a PoW es apagar PoW”.

En general, blockchain supone un consumo de energía ligeramente mayor que el de los sistemas tradicionales, sin embargo, también provee importantes ventajas operativas y de diseño que sistemas alternativos no proporcionan. Desde el punto de vista ambiental, su impacto parece ser mayor, pero facilita el desarrollo e implementación de sistemas y políticas en pos del ambiente, la sociedad y la gobernanza (ver [Sección 2 Usos y beneficios ambientales, sociales y de gobernanza de blockchain](#)).

74 El acertijo es un problema computacional a ser resuelto que no tiene ninguna aplicación per se, salvo ser difícil de resolver. Es decir, el único objetivo de dicho acertijo es que sea difícil de resolver, y por ende, costoso, no que sea útil. Literalmente, Bitcoin consiste en generar números aleatorios hasta encontrar uno que cumpla con determinadas condiciones.

Eficiencia energética del blockchain

Existe una variedad de formas de aplicar blockchain, que generalmente difieren en dos dimensiones: mecanismo de consenso elegido y acceso al mismo (blockchain público vs. privado). Entonces, la eficiencia del sistema es una consecuencia directa del consumo energético, que depende del mecanismo de consenso utilizado y su aplicación.

Sedlmeir et al. (2020) compara la eficiencia energética aproximada de diferentes variantes de blockchain y sistemas centralizados para realizar una transacción, y concluye que los sistemas centralizados son más eficientes que cualquier versión de blockchain, inclusive versiones privadas, con un costo energético por transacción de 0.01 J en un servidor sencillo, 0.1 J en un sistema centralizado y 1 J en un blockchain privado.⁷⁵

Las diferencias energéticas entre estas tecnologías no son tan amplias, particularmente si se considera que difieren en materia de seguridad y redundancia, por ende la elección de la tecnología adecuada dependerá de las funcionalidades necesarias en cada aplicación.⁷⁶ Por ejemplo, elegir un blockchain privado significa que cada usuario puede tener una copia de la información, lo cual conlleva un gasto energético superior debido a la mayor redundancia y seguridad.

Sin embargo, hay importantes diferencias entre los sistemas centralizados y los blockchain públicos, pero incluso dentro de esta clasificación, existen importantes variaciones según del mecanismo de consenso elegido. Los autores estiman que una transacción en un blockchain público utilizando PoW como mecanismo de consenso consume 1.000.000.000 J (10^9 J), mientras que un blockchain público sin PoW consume aproximadamente 1.000 J (10^3 J) por transacción.

Por definición, los mecanismos de consenso y la redundancia implícita en las blockchain implican mayor consumo energético que los sistemas centralizados. Sin embargo, esta nueva tecnología tiene implicancias técnicas, políticas y económicas valiosas más allá de su consumo energético.

Criptomonedas

En la actualidad, las criptomonedas son la principal aplicación de blockchain públicos, que tal como se comentó previamente, fueron centrales para el desarrollo de esta tecnología. Por ende, es importante entender la dinámica e impacto ambiental de esta aplicación.

El punto más conflictivo respecto a las criptomonedas es su consumo de energía. En esta sección pretendemos analizar su impacto ambiental, como así también avizorar el futuro de esta tecnología que tiene solo 15 años de existencia, se encuentra en constante evolución y ha hecho grandes avances en materia de sostenibilidad.

No hay consenso sobre la metodología a utilizarse para medir el consumo electrónico de las diferentes criptomonedas, por ende, existe una variedad de estimaciones alternativas que suelen estimar rangos de confianza sobre elementos

75 Los mismos autores aclaran que estas estimaciones son aproximadas y pueden variar dependiendo del hardware, medidas de seguridad y otras especificaciones en cada uno de los casos. No son medidas exactas, sino generales.

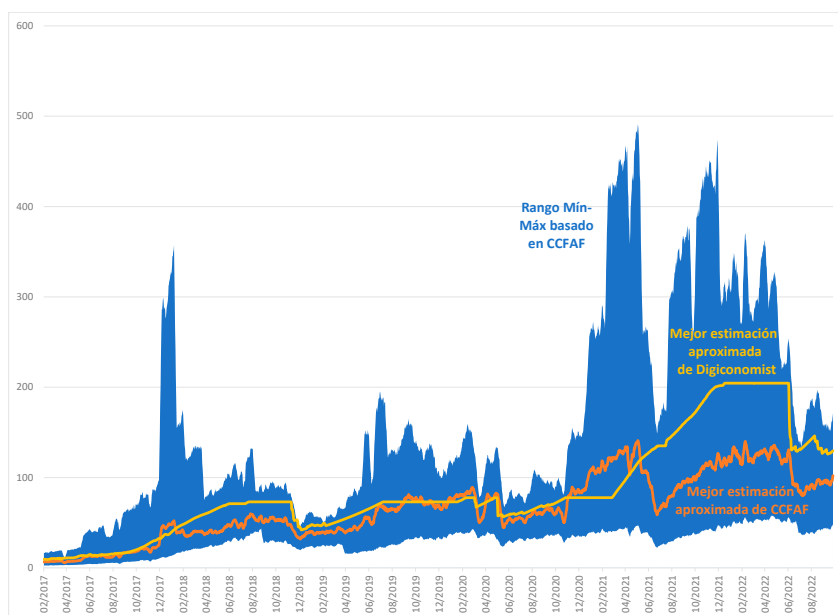
76 Para más información sobre los trade offs al momento de elegir esta tecnología, uno puede ver Kannengießner, N., Lins, S., Dehling, T., & Sunyaev, A. (2019). *What does not fit can be made to fit! Trade-offs in distributed ledger technology designs*. In Proceedings of the 52nd Hawaii international conference on system sciences.

técnicos y/o económicos que conocemos de la tecnología. En general utilizaremos las más aceptadas en la literatura específica, pero también mencionaremos mediciones alternativas, que muchas veces resaltan elementos interesantes.⁷⁷

Bitcoin

Sin lugar a duda, la criptomoneda que más energía consume es Bitcoin, tanto por su amplia adopción comparada con el resto de las monedas digitales, como por su diseño (ver figura debajo). La prueba de trabajo (PoW) elegida por Satoshi (2008), por definición, es costosa en poder de cómputo y por ende energía, y el hecho de que sea tan costosa es lo que la hace segura e inmutable.⁷⁸ De igual manera, las otras criptomonedas que utilizan PoW consumen amplias cantidades de energía, pero suelen ser menos adoptadas. Cabe señalar que el consumo energético de Bitcoin ha aumentado a medida que ha aumentado su adopción y su valor (ver figura 6 debajo).

Fig. 6: Bitcoin: consumo anualizado de energía (TWh) – estimaciones y rango de confianza⁷⁹



Fuente: elaboración propia sobre la base de CCFAF y Digiconomist (último dato disponible: 05/10/22)

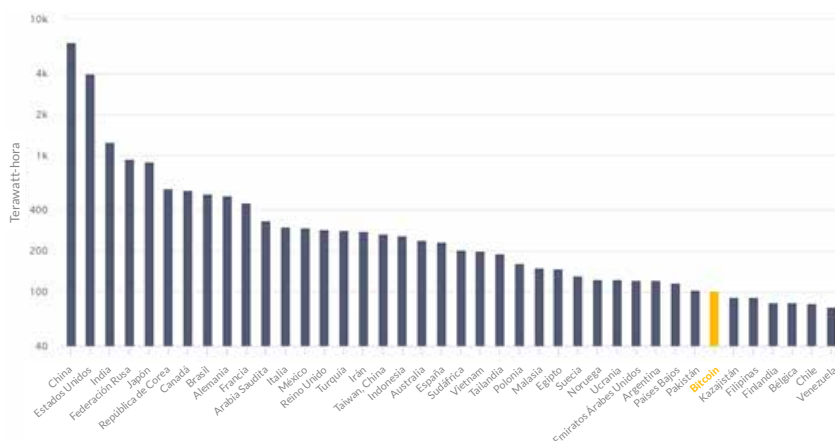
El consumo anualizado de energía de Bitcoin es tan elevado que puede compararse con el consumo de electricidad de países completos, ubicándose en el puesto 34, con un nivel similar al de Kazajistán (ver figura 7 debajo).

77 Para una discusión sobre las diferentes metodologías utilizadas, buenas prácticas en este tipo de estimaciones y análisis detallado de muchos de los estudios mencionados en este documento, ver Lei, N., Masanet, E., & Kooimey, J. (2021). *Best practices for analyzing the direct energy use of blockchain technology systems: Review and policy recommendations*. Energy Policy, 156, 112422. Los autores consideran que la información de CCFAF es la mejor estimación posible para Bitcoin.

78 Para poder superar el mecanismo de consenso elegido, un minero debería contar con más del 50% de poder de cómputo (y consumo de energía) de toda la red de Bitcoin, lo cual resulta poco plausible y muy costoso.

79 La exactitud de las estimaciones sobre el consumo energético de Bitcoin es discutida, sin embargo, hay estimaciones y rangos de confianza ampliamente aceptados en la literatura. El primero es el "Índice de Consumo Eléctrico de Bitcoin – Cambridge" (CBECI por sus siglas en inglés), elaborado por el Centro para las Finanzas Alternativas (CCFAF) de Escuela de Negocios "Judge" de la Universidad de Cambridge, y el segundo es el "Índice de Consumo Eléctrico de Bitcoin" (BECI por sus siglas en inglés) elaborado por el investigador Alex de Vries y publicado en el portal Digiconomist (ver debajo evolución del consumo de energía de Bitcoin según ambas estimaciones). Debido a las limitaciones de las metodologías, tanto el CBECI y BECI estiman un rango inferior suponiendo que todos los mineros utilizan el hardware más avanzado disponible y son extremadamente eficientes en el manejo energético (particularmente, la refrigeración de dichos equipos). Existen otras estimaciones sobre el consumo de Bitcoin, utilizando metodologías o supuestos diferentes, por ejemplo, Stoll et al. (2019), Zade et al. (2019), Krause y Tolaymat (2018), Coinshares (2022), NYDIG (2021), entre varios otros.

Fig. 7: Bitcoin vs. países: consumo eléctrico anualizado al 05/10/2022 (TWh, escala logarítmica)



Nota: el consumo de cada país está basado en estimaciones de la EIA, para el 2019 o el año más reciente.

Fuente: CCFAP (2022)

Ethereum

La segunda criptomoneda más utilizada es Ethereum, que hasta el 15/09/2022 utilizaba PoW como mecanismo de consenso —al igual que Bitcoin— pero ha migrado hacia PoS reduciendo significativamente (99,95%) su consumo energético (ver sección [Alternativas PoW](#) para más información sobre la migración de Ethereum).⁸⁰

Por ejemplo, el 13/09/2022 Ethereum utilizando PoW (que de ahora en más identificaremos como Ethereum-PoW) consumió 77,77 TWh (anualizado), pero a partir de la implementación de PoS, por ejemplo el 16/09/2022, Ethereum consumió únicamente 0,0124 TWh (anualizado) (ver figura 8 debajo).⁸¹

Antes de la migración a PoS, el consumo de electricidad de Ethereum-PoW era similar al consumo de Países Bajos (puesto 31) con la estimación de EECl o al de Ecuador (puesto 69) con la estimación de EEPUB (datos al 17/05/22). De sumarse el consumo de Bitcoin y Ethereum-PoW (BECl + EECl), el consumo energético era de 306 TWh, superior al de Italia (puesto 12).⁸²

En general, se estimaba que Bitcoin constituía el 2/3 del total de consumo energético de las criptomonedas, mientras que el resto representaban un 1/3 adicional.⁸³ La migración de Ethereum a PoS redujo sustancialmente el consumo de energía de las criptomonedas en general, pero el mismo continúa siendo elevado dado que Bitcoin continúa utilizando PoW.

80 Para más información sobre la importancia de la migración de PoW a PoS en la red de Ethereum, ver “Ethereum’s energy consumption”, jmcook.eth, 09/02/2022. Link: <https://bit.ly/3OGgjiA>

81 Durante la etapa de PoW, el consumo energético de Ethereum aumentaba cuando se incrementa su adopción y/o valor (igual comportamiento que Bitcoin). Existen dos estimaciones alternativas de consumo de energía por Ethereum, la primera, llamada “Índice de Consumo eléctrico de Ethereum” (EECI por sus siglas en inglés) realizada por el investigador Alex de Vries y publicado en el portal Digiconomist, siguiendo la misma metodología utilizada para calcular el consumo energético de Bitcoin (con supuestos diferentes), y otro realizado por el investigador Kyle McDonald (que identificamos con las siglas EEBUP, correspondientes a “Ethereum Energy: A bottoms up Approach”). Para información sobre las metodologías utilizadas, ver:

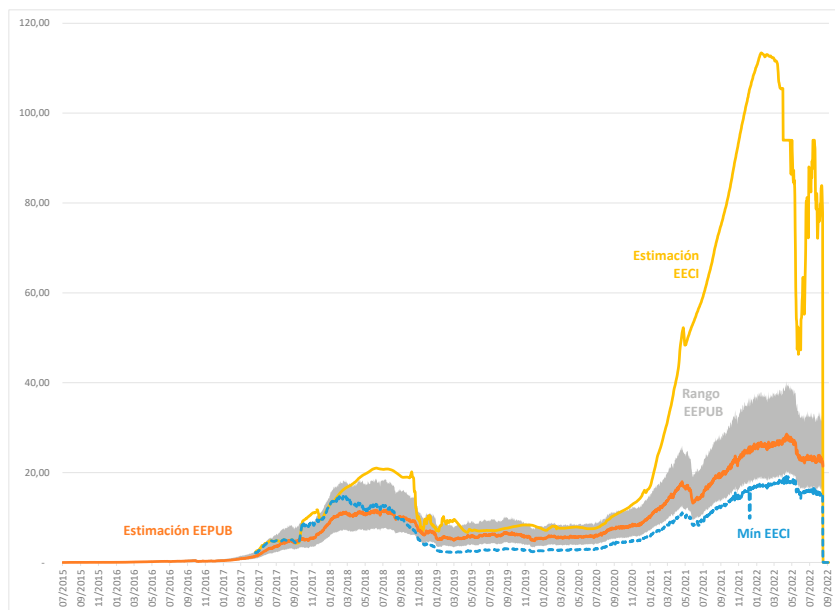
- EECl: “Ethereum Energy Consumption Index”, Digiconomist, recuperado el 17/05/22. Link: <https://bit.ly/3EzN5zC>
- EEBUP: McDonald, K. (2021). *Ethereum Emissions: A Bottom-up Estimate*. arXiv preprint arXiv:2112.01238. y “Ethereum Emissions: A Bottom-up Estimate”, Kyle McDonald, recuperado el 17/05/22. Link: <https://bit.ly/3rO1pgv> (Discontinuada luego de la migración de Ethereum a PoS).

A pesar de las diferencias metodológicas, Ethereum.org, la organización responsable del desarrollo de dicha plataforma acepta ambas estimaciones como valiosas y representativas. Ver: “Ethereum energy consumption”, Ethereum.org, recuperado el 17/05/22. Link: <https://bit.ly/3yxCxgI> y “Ethereum’s energy usage will soon decrease by ~99.95%”, Ethereum.org, 18/05/2021, recuperado el 17/05/22. Link: <https://bit.ly/3ExRMKi>

82 Adicionalmente, uno podría sumar el consumo eléctrico de otras criptomonedas que utilizan PoW como Dogecoin (4,34 TWh), forks de Bitcoin o Litecoin.

83 Gellersdörfer, U., Klaaßen, L., & Stoll, C. (2020). *Energy consumption of cryptocurrencies beyond bitcoin*. *Joule*, 4(9), 1843-1846.

Fig. 8: Ethereum: consumo anualizado de energía (TWh) – estimaciones y rango de confianza



Fuente: elaboración propia sobre la base de Digiconomist (data al 05/10/22) y McDonald, K. (2021)

Origen de la energía

A partir del consumo eléctrico de las diferentes criptomonedas, podemos estimar su huella de carbono. Sin embargo, el carbono equivalente generado por el consumo de electricidad de las criptomonedas depende del origen de la energía utilizada, es decir, si provienen de fuentes renovables o no renovables.

Existen dos formas de estimar el origen de la electricidad consumida, cada una con sus ventajas y desventajas. La primera, consiste en encuestas a los propios mineros donde autoreportan el porcentaje de energía renovable que utilizan.⁸⁴ Según la encuesta realizada por CCFAF (2020), el 76% de los mineros utiliza energías renovables como parte de su mix de electricidad, pero únicamente el 39% de todo el consumo eléctrico utilizado para minar proviene de energías renovables (ver figura 9 debajo).⁸⁵

Respecto a las fuentes de energía, el 62% de los mineros declara que utiliza energía hidroeléctrica, el 38% carbón, el 36% gas natural, el 17% energía eólica (ver CCFAF (2020) para mayor detalle). El mix de energías varía entre regiones, pero siempre predomina la energía hidroeléctrica, seguida de gas natural o carbón (en América Latina no se utiliza carbón), y en tercer lugar otras fuentes de energía.

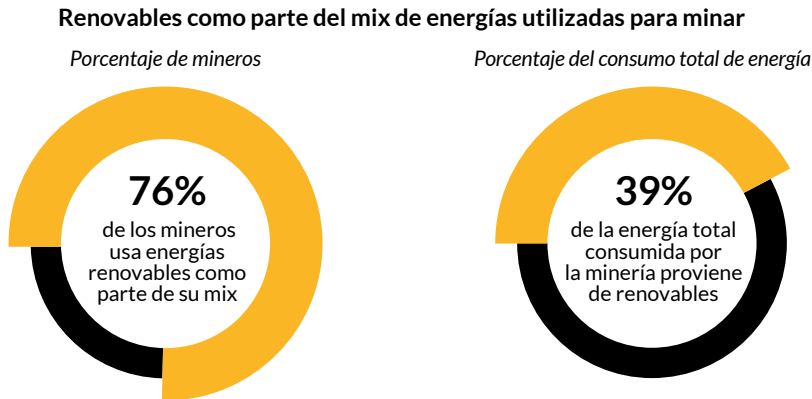
La segunda alternativa, basada en la ubicación geográfica de los mineros, asume que estos utilizan energía renovable en la proporción de la matriz eléctrica de la región donde se encuentran ubicados.⁸⁶ Es decir, si un minero está ubicado en Texas, EE. UU., se estima que consume energías renovables, gas natural y carbón

84 El problema de esta metodología para estimar la huella de carbono de las criptomonedas es el reporte impreciso, inexacto o deshonesto de los mineros acerca de su mix de consumo energético.

85 CCFAF (2020), *3rd global cryptoasset benchmarking study*. Link: <https://bit.ly/3R8uChB>

86 Las estimaciones de ubicación están basadas en el IP de los mineros que deben ser provistos para participar de los pools de mineros. Adicionalmente, se complementa con datos de los vendedores de hardware y otras fuentes de información. Ver "Bitcoin Mining Map", CCFAF, recuperado el 20/05/2022 (link: https://ccaf.io/cbeci/mining_map) y Stoll, C., Klaaßen, L., & Gellersdörfer, U. (2019). *The carbon footprint of bitcoin*. *Joule*, 3(7), 1647-1661. Un desafío de esta metodología es que los IP de los mineros pueden modificarse a través de VPN. Por ejemplo, se reporta un número significativo de mineros en Irlanda o Alemania, pero no hay evidencia de que existan instalaciones de dicho tamaño en esos países, lo que lleva a suponer que los mineros modificaron sus IP para simular estar en esas jurisdicciones.

Fig. 9: Energías renovables: porcentaje de mineros que utilizan algo de energía renovable y porcentaje total de la energía que proviene de fuentes renovables.

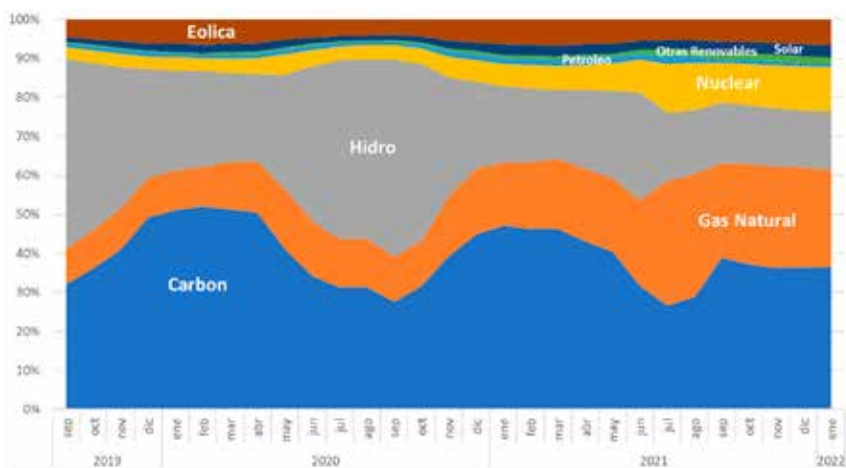


Fuente: CCFAF (2020)

en la misma proporción que la red general de electricidad de dicha región (metodología desarrollada originalmente por Vries et al. 2022).⁸⁷

Sobre esta información podemos observar que en enero del 2022 los mineros de Bitcoin estaban ubicados en EE. UU. (38% del total), seguidos por los de China (21%), y luego los de Kazajistán (13%). Hasta mediados del 2021, China dominaba el minado de Bitcoin, incluso alcanzando un máximo de la serie del 75% del total en septiembre del 2019. En base a esta información, podemos estimar qué tipo de energía utilizan los mineros de esta red (ver figura 10 debajo).

Fig. 10: Origen de la electricidad consumida por la red de Bitcoin



Fuente: elaboración propia sobre la base de CCFAF a enero 2022.

87 de Vries, A., Gellersdörfer, U., Klaufen, L., & Stoll, C. (2022). *Revisiting Bitcoin's carbon footprint*. *Joule*, 6(3), 498-502.

La comunidad cripto en general tiene el objetivo de continuar aumentando la proporción de energía renovable, existiendo varias publicaciones que proponen alternativas en esa dirección.⁸⁸ Sin embargo, su implementación y progreso todavía no han podido observarse. A su vez, muchos creen (mientras otros discuten) que las criptomonedas pueden contribuir al desarrollo de energías renovables, al estabilizar la demanda en la red e incentivar su desarrollo (ver sección [Energías renovables: ¿una alternativa realista?](#)).

Emisiones de carbono equivalente

En base a las estimaciones de consumo de energía eléctrica, la ubicación de los mineros e información sobre el mix de generación eléctrica, podemos calcular las emisiones carbono equivalentes del minado de las criptomonedas. Existe una variedad de estudios que estiman las emisiones de carbono equivalentes de Bitcoin, Ethereum-PoW o criptomonedas en general, que según los supuestos y las metodologías adoptadas pueden diferir sustancialmente.

Se estima que el minado de Bitcoin generó 56,3 MtCO₂e durante el 2021 (estimaciones similares a De Vriers et al. (2022), 65.4 MtCO₂ anuales según datos de agosto de 2021), y que las emisiones acumuladas alcanzarían 202,4 MtCO₂e para finales de 2022 (ver figura 11 debajo).⁸⁹ A modo de comparación, las emisiones de Grecia son de 56.6 MtCO₂, el equivalente a 0,19% de las emisiones totales a nivel global.⁹⁰

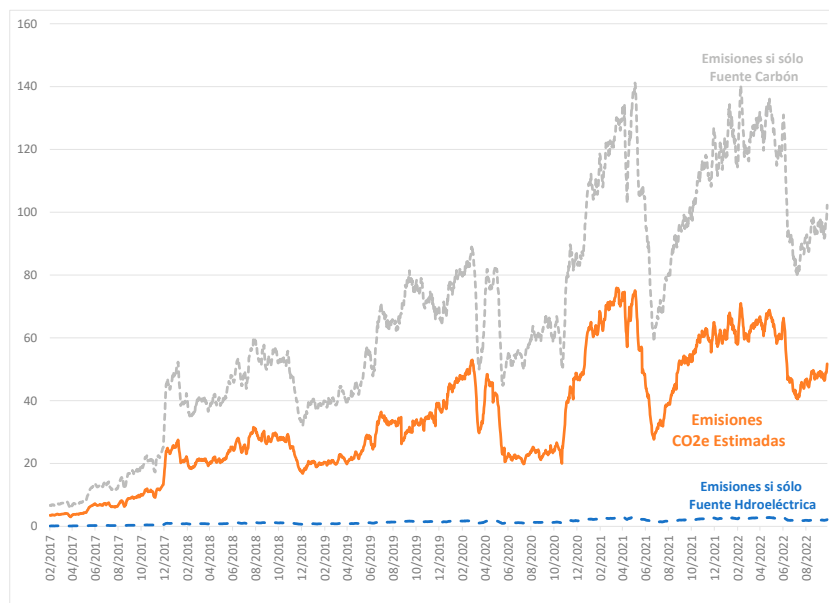
De Vriers et al. (2022) estima que del total de emisiones de CO₂ generadas por la red de Bitcoin en agosto 2021, Kazajistán fue responsable de más del 25% de las emisiones (mientras solo procesaba el 18% del hashrate en dicho período), por generar mucha electricidad sobre la base de carbón duro (muchas emisiones). Le sigue EE. UU. con el 15,1% de las emisiones, donde se utiliza un importante mix de electricidad generada por gas natural (Texas) y carbón (Kentucky, Georgia).

Un ejercicio interesante para visualizar el desafío de las emisiones de carbono generadas por Bitcoin, es realizado por Mora et al. (2018), donde estiman que se demoraría solamente 16 años en consumir el presupuesto de carbono disponible para evitar un aumento de 2°C de la temperatura, suponiendo que Bitcoin se comienza a adoptar de forma generalizada para todos los pagos electrónicos.⁹¹

En conclusión, el gran consumo energético generado por las criptomonedas basadas en PoW tienen un importante impacto en materia de emisiones de carbono, dado que la generación de la electricidad requerida implica emisiones. Definitivamente, si la generación eléctrica fuera 100% renovable, el impacto ambiental de las criptomonedas basadas en POW sería menor (ver en la figura 11, por ejemplo, las bajas emisiones generadas por el minado de Bitcoin en el hipotético caso que toda la energía fuese hidroeléctrica). Sin embargo, hoy en día solo el 13,5% de la energía proviene de fuentes renovables, y la transición energética durará varias décadas, siendo una realidad con la que tenemos que coexistir y suponer una matriz renovable en la actualidad resulta utópico.⁹²

- 88 Por ejemplo, ver: NYDIG (2021). *Bitcoin net zero*. Link: <https://bit.ly/3yDn0MW>
- 89 Previo a la migración de Ethereum a PoS, McDonald (2021) estimaba que las emisiones de Ethereum-PoW era de 7,98 MtCO₂e mientras que Digiconomist calculaba emisiones anuales 55,27 MtCO₂.
- 90 Una tercera fuente, Stoll et al. (2019) estima las emisiones de Bitcoin en 22,0-22,9 MtCO₂, Ethereum-PoW ubicándose entre el ranking 77 (Corea del Norte) y 83 (Angola) en emisiones de carbono.
- 91 Mora, C., Rollins, R.L., Taladay, K. et al. (2018). *Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C*. *Nature Clim Change* 8, 931–933. Link: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0321-8>
El trabajo ha sido criticado básicamente por dos supuestos técnicos cuestionables. Primero, incluir máquinas de minado que no ya no eran rentables al momento de la realización del trabajo, y segundo, la imposibilidad técnica de que Bitcoin puede procesar el volumen de transacciones que estima el modelo que debería procesar (problema de escalabilidad). Para la primera crítica ver Houy, N. (2019), *Rational mining limits Bitcoin emissions*. *Nat. Clim. Chang.* 9, 655. (Link: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0533-6>) y Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N. et al. (2019) *Implausible projections overestimate near-term Bitcoin CO₂ emissions*. *Nat. Clim. Chang.* 9, 653–654 (Link: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0535-4>). Para la segunda crítica, ver: Dittmar, L., Praktiknjo, A. (2019) *Could Bitcoin emissions push global warming above 2°C?*. *Nat. Clim. Chang.* 9, 656–657 (Link: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0534-5>).
- 92 Hannah Ritchie, Max Roser y Pablo Rosado (2021), *Renewable Energy*, OurWorldInData.org. link: <https://bit.ly/3CBvhl6>

Fig. 11: Bitcoin: emisiones de carbono equivalente



Nota: hasta el 31/09/2019 se utiliza como referencia el mix de energía global, entre 01/10/2019 y 31/01/2022 se emplea el mix de energía según la ubicación geográfica de los mineros, y a partir del 01/02/2022 hasta el último dato disponible se usa el mix de energía al 31/01/2022 hasta disponer de nueva información.

Fuente: elaboración propia sobre la base de CCAF (datos hasta el 05/10/2022)

Criptomonedas vs. medios de pagos centralizados

En la actualidad las criptomonedas conllevan un importante consumo de energía y sus consecuentes emisiones de carbono, a pesar de que su adopción todavía sigue siendo minoritaria, tanto en el porcentaje de la población que ha adquirido una criptomoneda como en el porcentaje del valor total transaccionado. Es decir, que conlleva un impacto ambiental significativo a pesar de su bajo nivel de utilización comparadas con otros medios de pagos.

La adopción de las criptomonedas continúa siendo baja a nivel internacional, pero crece rápidamente. Un primer indicador, es la cantidad de usuarios que utilizan criptomonedas. Por ejemplo, crypto.com (2022) estima que en diciembre 2021 el total de usuarios crypto alcanzará los 295 millones, principalmente impulsado por la adopción de Bitcoin (176 millones) y Ethereum (23 millones), y prevén alcanzar los mil millones de usuarios para fines de 2022.⁹³ Sin embargo, no sólo es relevante el número de personas que utilizan las criptomonedas (usuarios o comercios) sino también la intensidad de uso (cuántas transacciones se realizan con ellas).

En comparación con medios de pagos electrónicos o únicamente con las tarjetas de crédito, las criptomonedas todavía son muy poco utilizadas. Durante el

93 Crypto.com (2022), *Crypto Market Sizing Global Crypto Owners Reaching 300M*, January 2022. Link: <https://bit.ly/3eiSaSw>

2020, se estima que hubo 37,6 millones de transacciones en Bitcoin y 344,8 millones de transacciones en Ethereum, muy por debajo de las 468.000 millones de operaciones registradas por las principales empresas de tarjeta de compra (VISA, MasterCard y otros) o los 766.000 millones de transacciones electrónicas (no cash) que se estiman transcurren en un año.⁹⁴

Entonces, para poner en perspectiva el consumo de energía y emisiones de carbono que generan las criptomonedas basadas en PoW, se suele comparar el consumo energético y las emisiones por transacción de una criptomoneda (generalmente Bitcoin) con las de un medio de pago centralizado, como puede ser una tarjeta de crédito (generalmente de VISA) (ver tabla 4 debajo).⁹⁵

Tabla 4: consumo de energía y emisiones por transacciones de criptomonedas

Medio de Pago	Consumo energía	Emisiones
1 transacción Bitcoin	2.138,78 KWh	1.192,92 kg CO ₂
1 transacción Ethereum-POW	227,67 KWh	126,98 kg CO ₂
1 transacción Ethereum-POS (100.000 transacciones)	0,02606 KWh (2.606 KWh)	-
100.000 transacciones VISA	148,63 KWh	45,12 kg CO ₂

Fuente: elaboración propia en base a Digiconomist (05/2022 y 10/2022)

Desde la migración de Ethereum a PoS, su consumo energético por transacción se ha reducido sustancialmente (un 99,95% menos que antes) y se estima que actualmente cada transacción consume 26,06 Wh (es decir, 0,02606 KWh), encontrándose en un rango similar pero superior al de medios de pago centralizado.

Muchos critican la comparación entre sistemas descentralizados como Bitcoin/Ethereum y sistemas centralizados como VISA/Mastercard porque consideran que las criptomonedas no son un medio de pago, sino un sistema monetario y/o financiero independiente.⁹⁶ Sin embargo, en nuestra opinión, su principal aplicación continua siendo como medio de pago, lo cual amerita dicha comparación, aunque en el futuro con la evolución de estas plataformas y el desarrollo de nuevas aplicaciones podría corresponder una interpretación y/o comparación diferente.

En resumen, las emisiones de las criptomonedas, en particular las criptomonedas que utilizan PoW como mecanismo de consenso, son muy altas. Esto sin considerar que el nivel de adopción de las criptomonedas todavía es muy bajo comparado con el de otros medios de pagos como tarjetas o pagos móviles. Si más personas utilizan criptomonedas, o aumenta su intensidad de uso, el impacto ambiental de las mismas continuará creciendo rápidamente. Por ende, es importante analizar formas en las que blockchain pueda maximizar su impacto social minimizando su impacto ambiental.

94 Para Bitcoin, se consideraron las transacciones confirmadas diarias, según Blockchain.com, recuperadas el 25/05/22 (link: <https://bit.ly/3EvhfnP>) y para Ethereum las transacciones totales diarias, según Etherscan, recuperadas el 25/05/22 (link: <https://etherscan.io/chart/tx>). Para "Pagos no cash", se tuvo en cuenta las estimaciones realizadas por Capgemini Financial Services Analysis (2020), "World payments report 2020" (link: <https://bit.ly/3emHP7R>) sobre la base de ECB and BIS data y para "Pagos con tarjeta", se tuvo en cuenta el total de transacciones realizadas según reporta Nielsen Report (2020), recuperado el 25/05/22, (link: <https://bit.ly/3yxKH8V>)

95 Existen estimaciones de consumo de energía levemente diferentes pero que demuestran de igual forma la poca eficiencia de PoW con respecto a sistemas centralizados. Deutsche Bank (2021) estima que una transacción de Bitcoin consume 118 KWh, una transacción de Ethereum-PoW consumía 20 KWh, y una operación de pago con tarjeta (VISA-Mastercard) consumía 0,00649 KWh. Para más información, ver: Deutsche Bank (2021), *The Future of Payments: Series 2, Part II. When digital currencies become mainstream*, January 2021, link: <https://bit.ly/3fZHK4j>.

96 Algunos consideran que las criptomonedas son un medio de pago, otros un activo financiero o un sistema monetario. Además, plataformas como Ethereum, Cardano o Polygon ofrecen usos adicionales al del dinero tradicional. Al día de la fecha creemos que la mejor comparación sigue siendo con medios de pagos centralizados, sin embargo, trabajos como Valuechain (2022) o McCook (2018) comparan Bitcoin y otras criptomonedas con las emisiones del dinero papel, el sistema financiero global, etc. Valuechain (2022), *Bitcoin: Cryptopayments Energy Efficiency*, 16/06/2022, link: <https://t.ly/UQ6s> y McCook, H. (2018), *The cost & sustainability of Bitcoin*, 29/07/2018, Unpublished Working Paper.

Alternativas a PoW

El alto consumo energético de las criptomonedas y las emisiones generadas como consecuencia de la generación eléctrica se deben principalmente a la elección del mecanismo de consenso mayoritariamente utilizado en la actualidad. Por diseño, resolver los acertijos que presenta PoW requiere un importante costo computación, por ende, energético, y finalmente monetario, que busca garantizar la seguridad e inmutabilidad del sistema.

Por ende, para reducir el impacto ambiental de las criptomonedas, la primera pregunta que debemos hacernos es si PoW es razonable. Cómo bien ha demostrado la migración de Ethereum a PoS, utilizar mecanismos de consenso alternativos, sea PoS o PoA, de por sí solo reduce fuertemente el consumo energético. Entonces, para algunos (dado que no existe un consenso) en la actualidad existe un *trade-off* entre la seguridad del sistema (PoW) y la mayor eficiencia energética (PoS/PoA).⁹⁷

Con ese dilema en mente, la comunidad cripto ha tomado dos posturas. Por un lado, muchos desarrolladores consideran que la única solución al consumo eléctrico de PoW sería “directamente apagarlo”.⁹⁸ Esa ha sido la postura que adoptó Ethereum, que en un largo proceso conocido como “The Merge” migró de PoW a PoS sin que el sistema estuviese desconectado en ningún momento.⁹⁹ Fue una tarea altamente compleja que comenzó en 2020, finalizó el 15 de septiembre de 2022, y al día de la fecha se considera altamente exitosa debido a la alta adopción por parte de la comunidad Ethereum (usuarios, wallets, exchanges, etc.) que evitó un fork y permitió una reducción en el consumo de energía del sistema cercano al 99,95% originalmente predicho. En la figura 8 “Ethereum: consumo anualizado de energía”, podemos observar cómo a partir de la adopción de PoS se derrumba el consumo de energía utilizado por Ethereum.

Estimaciones como la de Platt et al. (2021) incluso consideran que sistemas basados en PoS pueden ser igual o más eficientes que sistemas centralizados como VISA.¹⁰⁰ Otros trabajos como Sedlmeir (2020) consideran que PoS blockchain podría llegar a tener requerimientos energéticos superiores a los de los sistemas centralizados (pero muy por debajo de blockchain con PoW), dado que cada nodo de la red debe procesar y almacenar todas las transacciones. Sin embargo, el foco debería ponerse en el consumo energético de los mecanismos de consenso y no en los nodos ociosos (ver UE 2020).¹⁰¹

Una segunda alternativa a PoW que actualmente se analiza es la posibilidad de que el trabajo a realizar por parte de las computadoras sea útil, genere valor. Esta opción conocida como prueba de trabajo útil (*Proof of Useful Work* o *Useful Proof of Work*, PoUW o UPoW) no tiene aplicaciones prácticas pero es un concepto que está siendo ampliamente analizado y podría garantizar un alto nivel de seguridad y generar valor al canalizar el cómputo a tareas útiles.¹⁰²

Una tercera alternativa sería incorporar sistemas intermedios más eficaces y menos costosos (en términos energéticos y ambientales), donde la mayoría de las transacciones ocurren, se agregan, y luego se reflejan en su formato definitivo en el blockchain de Bitcoin. Esta es la propuesta impulsada por “The Lightning Network” para Bitcoin, que busca implementar un sistema intermedio para transac-

- 97 Blockchain ampliamente adoptados con PoS con mecanismos de consenso son altamente seguros. Por ejemplo, ver “Why Proof of Stake (Nov 2020)”, Vitalik Buterin, 06/11/2020 (link: <https://vitalik.ca/general/2020/11/06/pos2020.html>) o “Proof of Stake FAQs”, Ethereum Wiki, recuperado el 27/05/22 (link: <https://eth.wiki/concepts/proof-of-stake-faqs>). Sin embargo, algunos cuestionamientos persisten, ver: M. Saad, Z. Qin, K. Ren, D. Nyang and D. Mohaisen (2021), *e-PoS: Making Proof-of-Stake Decentralized and Fair*, in IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 32, no. 8, pp. 1961-1973, 1 Aug. 2021, doi: 10.1109/TPDS.2020.3048853.
- 98 Dicha cita suele atribuirse al referente cripto Bankless. Ver: <http://podcast.banklesshq.com/>
- 99 Para más información sobre la migración de Ethereum de PoW a PoS, ver “The Merge”, Ethereum, recuperado 27/05/2022. Link: <https://ethereum.org/en/upgrades/merge/> y “The Ethereum Proof-of-Stake Merge”. Link: <https://ethmerge.com/>
- 100 Platt, M., Sedlmeir, J., Platt, D., Tasca, P., Xu, J., Vadgama, N., & Ibañez, J. I. (2021). 2021 IEEE 21st International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C), 2021, pp. 1135-1144.
- 101 Por ejemplo, el poder de cómputo utilizado podría ser destinado a resolver modelos climáticos complejos, que para el minero no tiene ninguna utilidad, pero socialmente sería beneficioso. Papageorgiou, O., Sedlmeir, J., Fridgen, G., Vlachos, I., Kostopoulos, N., Damvakeraki, T., & Slapnik, T. (2021). *Energy Efficiency of Blockchain Technologies*. European Union Blockchain Observatory & Forum.
- 102 Ball, M., Rosen, A., Sabin, M., & Vasudevan, P. N. (2021). *Proofs of Useful Work*. Haouari, M., Mhiri, M., El-Masri, M., & Al-Yafi, K. (2022). *A novel proof of useful work for a blockchain storing transportation transactions*. Information Processing & Management, 59(1), 102749. Lihu, A., Du, J., Barjaktarevic, I., Gerzanics, P., & Harvilla, M. (2020). *A proof of useful work for artificial intelligence on the blockchain*. arXiv preprint arXiv:2001.09244.

ciones entre dos nodos, permitiendo que se abra un “canal paralelo” (técnicamente es un smart contract *off the chain*) donde se realizan múltiples transacciones, y recién cuando se cierra dicho canal se registra en el blockchain de Bitcoin.¹⁰³ Sistemas intermedios, que reducen el número de transacciones a realizarse en el blockchain de Bitcoin, ofrecen mecanismos de consenso más eficientes y menos costosos y permiten reducir el impacto ambiental de Bitcoin.¹⁰⁴

Energías renovables: ¿una alternativa realista?

El impacto ambiental de las criptomonedas está definido principalmente por su consumo eléctrico, por ende, si la energía utilizada por los mineros fuese renovable, sus emisiones se reducirían considerablemente (una matriz energética renovable reduciría sustancialmente las emisiones). Sin embargo, la energía es fungible, es decir, la energía de fuentes renovables, es igual a la energía de combustibles fósiles, siendo muy difícil diferenciar qué tipo de energía utiliza cada minero o implementar cualquier sistema que garantice la utilización de minado con energías limpias.¹⁰⁵

El primer problema es el alto nivel de consumo energético de las criptomonedas en un mundo de energía renovable insuficiente. Es decir, no hay suficientes fuentes de energía renovables para cubrir el consumo de las criptomonedas y si las criptomonedas demandaran más energías renovables desplazarían a otros consumidores de energía hacia fuentes no renovables.¹⁰⁶

Adicionalmente, algunos como Bitcoin Clean Energy Initiative (2021) o el gobernador de Texas, conjeturan que el aumento de la demanda por parte de los mineros de criptomonedas (PoW principalmente) permitirá aumentar la oferta renovable al estabilizar la demanda de energía.¹⁰⁷ Sin embargo, múltiples trabajos cuestionan su efectividad y los reguladores y proveedores de energía están altamente preocupados por el consumo eléctrico de cripto, que en muchos casos son subsidiados con recursos públicos.¹⁰⁸

Para empezar, muchos sistemas eléctricos (por ejemplo los de Argentina, China, etc.) no tienen precios que fluctúan rápidamente que permitan reflejar la oferta y demanda del sistema, por lo que los mineros no tienen incentivos a modificar su comportamiento rápidamente. Segundo, en muchos países el consumo de energía está subsidiado con recursos públicos, por ende, se termina subsidiando el minado de criptomonedas. Tercero, el efecto en precios que puede generar el minado cripto en momentos de exceso de oferta resulta insignificante, por ende, no impulsa la inversión en energías renovables.¹⁰⁹ Cuarto, debido a la corta vida útil del hardware de minado cripto, resulta fundamental que el mismo esté activo el mayor tiempo posible para maximizar el retorno de la inversión, manteniéndose prendido sin pausas salvo en circunstancias extraordinarias (al ser poco sensible a variaciones de precios, genera mayor consumo eléctrico de base).¹¹⁰

Para maximizar su inversión, los mineros requieren energía barata, sin importar su origen (renovable o no renovable), y mayor nivel de utilización del hardware mientras el mismo sea eficaz (se estima una vida útil de 1,3 años, ver sección

103 Para más información, ver <https://lightning.network/> y su white paper: Poon, J. y Dryja, T. (2016), *The Bitcoin Lightning Network: Scalable Off-Chain Instant Payments*, link: <https://lightning.network/lightning-network-paper.pdf>

104 Ver: Divakaruni, Anantha, y Zimmerman, Peter. 2022. *The Lightning Network: Turning Bitcoin into Money*. Working Paper No. 22-19. Federal Reserve Bank of Cleveland. Link: <https://doi.org/10.26509/frbc-wp-202219>.

105 Ni la tecnología ni sus usuarios pueden validar qué tipo de energía utiliza cada minero. Existen proyectos para certificar el origen de la electricidad, sin embargo, requieren visitas presenciales y no han sido ampliamente adoptados (ver Sustainable Bitcoin Standard, ver: <https://www.sustainablebtc.org/>).

106 Difícilmente el minero de bitcoin sea el “consumidor marginal” que ante la suba del precio de la energía reduzca su consumo. Probablemente sean otros consumidores los que se desconecten antes de que lo haga el primer minero.

107 Por ejemplo: Bitcoin Clean Energy Initiative (2021), “*Bitcoin is Key to an Abundant, Clean Energy Future*”, 04/2021. Link: <https://bit.ly/3nCNGHh>. También “*Texas Governor Abbott Turns to Bitcoin Miners to Bolster the Grid and His Re-Election*”, Bloomberg, 27/01/22.

108 Ver “*Kosovo bans cryptocurrency mining after blackouts*”, BBC, 05/01/22, “*New York is close to a bitcoin mining crackdown — here’s what that means for the industry*”, CNBC, 22/5/22, “*La criptominería pone en jaque al sistema eléctrico de Tierra del Fuego*”, Clarín, 27/04/22.

109 “*Crypto Mining for a More Stable Grid?*”, Borenstein, S., Energy Institute Blog, UC Berkeley, March 21, 2022.

110 El equipamiento cripto tiene una vida útil de 1,5 años (18 meses), luego del cual debe ser reemplazado para continuar siendo competitivo razón por la cual los mineros deben maximizar su uso en el corto plazo.

Residuos electrónicos). Ninguno de estos dos comportamientos parece contribuir con el desarrollo de las energías renovables.

Por otra parte, la alta movilidad de las instalaciones para minar criptomonedas ha incentivado la captura y utilización del metano producido por pozos petroleros que no puede ser almacenado ni transportado (falta de gasoductos), y se termina liberándose en la atmósfera o quemándose generando emisiones de CO₂, proceso conocido usualmente como *flaring*. Algunos mineros (el 2,4% del total del hashrate por Coinshare 2022) aprovechan esta fuente de energía evitando 0,11 toneladas de emisiones de metano, equivalente a 2.1 MtCO₂.¹¹¹

Residuos electrónicos

Luego del consumo energético, el segundo impacto ambiental más importante es el causado por los residuos electrónicos generados por los mineros de criptomonedas. Los equipos utilizados usualmente para resolver los acertijos de PoW sufren una rápida degradación debido a su uso continuo e intensivo, pero también son reemplazadas rápidamente para poder continuar siendo competitivos en una industria donde la tecnología y eficiencia de los equipos avanza tan rápidamente como las criptomonedas basadas en PoW.

De los 53,6 millones de toneladas métricas (Mt) de residuos electrónicos globales generados en el 2019, solo un 17,4% fue recolectado y reciclado, y se espera que los residuos electrónicos se dupliquen para 2050.¹¹² En este contexto, las criptomonedas contribuyen a la producción de mayor cantidad de residuos electrónicos, particularmente Bitcoin, con sus equipos especializados de minado.

Eficiencia energética y competencia

Cómo todos los mineros compiten entre ellos para resolver el acertijo propuesto por el PoW, aquellos que tienen dispositivos más poderosos (y eficientes¹¹³) podrían resolverlo más rápidamente aumentando su probabilidad de ser recompensados.

La carrera entre mineros por tener el mejor hardware ha impulsado grandes avances en materia de eficiencia energética del hardware, particularmente para Bitcoin, mejorando a tasas de x50.¹¹⁴ Sin embargo, los equipos previamente adquiridos pueden volverse económicamente obsoletos muy rápidamente.¹¹⁵ Si un minero empieza a utilizar hardware más potente (tendrá más probabilidades de resolver el acertijo primero) y más eficiente (tendrá incentivos a comprar más máquinas), implicando que el resto de los mineros deberá adquirir dichas máquinas más poderosas para continuar siendo competitivos. Si todos tienen máquinas más poderosas y eficientes, la dificultad de los acertijos aumentará, y por ende los viejos hardware (menos eficientes) ya no serán económicamente rentables.¹¹⁶

Esto lleva aparejado que el hardware utilizado para minar criptomonedas se torna rápidamente obsoleto, sea por su uso continuo e ininterrumpido, o porque nuevos equipos lo tornan económicamente inviables.¹¹⁷ Adicionalmente, los equi-

111 Ver: Sny de Vries, A. (2019). *Renewable energy will not solve bitcoin's sustainability problem*. *Joule*, 3(4), 893-898. Otros consideran que cripto serviría para incentivar la producción de hidrógeno sobre la base de este gas descartado en los pozos. Sytnnikov, P., & Potemkin, D. (2022). *Flare gas monetization and greener hydrogen production via combination with crypto currency mining and carbon dioxide capture*. *iScience*, 103769. También ver, "Oil drillers and Bitcoin miners bond over natural gas", Reuters, 21/05/21, link: <https://reut.rs/3yFZFdq>.

112 Forti, V., Bald'e, C.P., Kuehr, R., Bel, G., (2020). *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, Flows and the Circular Economy Potential*. UNU/UNITAR SCYCLE, ITU, ISWA. "With E-waste Predicted to Double by 2050, Business as Usual Is Not an Option", United Nations University, 17/09/2019. Link: <https://bit.ly/3yzglmu>

113 Mayor eficiencia energética no necesariamente implica menor consumo total, dado que al reducir los costos de minado, se incentiva la inversión en mayor cantidad de máquinas para aumentar la probabilidad de resolver primero el acertijo.

114 Por ejemplo, la Bitmain Antminer S19 XP (140Th), lanzada en junio del 2022, consume 0,02 J/Gh, mientras que la Botmain Antiminer S3, lanzada en julio 2014, consumía 0,77 J/Gh. Esto significó una mejora de 38,5 veces.

115 McCook (2018) estima que los periodos de viabilidad técnica de los hardware ASIC es superior a su viabilidad económica. En otras palabras, se descartan equipos que funcionan correctamente, porque ya no son rentables. Por su parte, de Vriess y Stoll (2021) calcula que la vida útil promedio de un ASIC para Bitcoin es de 1,29 años.

116 Suponiendo precios constantes, los nuevos equipos consumen menos energía (menor costo) y tienen mayor poder de cómputo (mayores probabilidades de resolver el acertijo, mayor ingreso). Si el precio de la criptomoneda sube, el equipo menos eficiente se torna económicamente rentable, aumentando el consumo de la red y bajando la eficiencia del sistema.

117 La competencia para desarrollar y producir equipos de minado es una de las razones de la escasez global de microprocesadores. "Crypto-miners are probably to blame for the graphics-chip shortage", *The Economist*, 19/06/2021. Link: <https://econ.st/3ae1SmZ>

pos especializados (ASICs) no pueden ser reutilizados para otras funciones, únicamente sirven para minar la criptomoneda para la cual fueron creados. Por otra parte, los equipos genéricos, como el GPU para minar Ethereum-PoW, pueden ser reutilizados al tornarse económicamente inviables o ineficientes para minar criptomonedas, alargando su vida útil y reduciendo los residuos electrónicos.¹¹⁸

Bitcoin y residuos electrónicos

Debido a que el hardware utilizado para minar Bitcoin no puede ser reutilizado, y a que su obsolescencia económica puede ser calculada en base a la eficiencia de nuevas máquinas y el precio de Bitcoin, de Vriers y Stoll (2021) estiman que Bitcoin genera 30,7 toneladas métricas anuales de residuos electrónicos (mayo 2021) o 272g de residuos electrónicos por transacción (112,5 millones de transacciones en 2020).¹¹⁹ Es decir, que cada transacción Bitcoin produce en promedio más residuos electrónicos (240g) que un iPhone 13 Pro Max.

La cantidad de residuos electrónicos que genera Bitcoin es comparable con la generación de residuos por parte de equipos de telecomunicaciones y computación como la de los Países Bajos (30 kt) (Vriers y Stoll, 2021). Adicionalmente los autores estiman que, debido a la creciente demanda de este tipo de equipos, los residuos electrónicos generados anualmente por la red de Bitcoin podrían alcanzar 64,35 kt.

Conclusión

El impacto ambiental de blockchain en general no es radicalmente diferente al producido por otras tecnologías actuales, sin embargo, las blockchain públicas con mecanismo de consenso PoW, son por diseño altamente contaminantes dado que utilizan grandes cantidades de energía eléctrica proveniente de fuentes no renovables.

La migración de Ethereum a PoS ha sido un primer paso para reducir el impacto ambiental de las criptomonedas en general, pero Bitcoin debería seguir el mismo camino, y difícilmente lo haga debido al rechazo de su comunidad, como así también de la industria de mineros, equipamientos e inversores construida alrededor de esta criptomoneda.

Avances tecnológicos, tanto en materia de energías renovables como de mecanismos de consenso podrían colaborar con la reducción de emisiones de las criptomonedas en general, pero lo cierto es que no hay todavía un panorama claro respecto a cuándo se aplicarían ni se tiene un conocimiento cabal de sus posibles efectos.

118 Se estima que la vida útil de GPU para usos normales es de 3 años, pudiendo fácilmente extenderse la vida útil de equipamiento no ASIC. Ver Gaidajis, G., Angelakoglou, K., Aktsoylou, D. (2010), *E-waste: environmental problems and current management*, J. Eng. Sci. Technol. Rev. 3, 193–199. Link: <https://doi.org/10.25103/jestr.031.32>

119 De Vries, A., & Stoll, C. (2021). *Bitcoin's growing e-waste problem*. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105901.

R E F L E X I O N E S F I N A L E S

**ESTAMOS
ANTE
UN NUEVO
PRINCIPIO**

ESTAMOS ANTE UN NUEVO PRINCIPIO

Hemos llegado al final de este recorrido sobre los usos de la tecnología blockchain, sus efectos en los ejes ambiental, social y de gobernanza que hacen al concepto de la sostenibilidad, así como su consumo energético y la generación de residuos electrónicos, con el objetivo de examinar exhaustivamente su impacto y potencial.

De nuestra investigación se desprende que la infraestructura de blockchain adquirirá un impacto mucho más relevante en múltiples sectores económicos y aspectos de nuestra vida cotidiana en un futuro no lejano. Su rápida y constante evolución hace difícil predecir con precisión panoramas futuros, sin embargo conjeturamos transformaciones profundas en la sociedad, la economía y la política global impulsados por blockchain.

En el eje ambiental, su potencial de transformación resulta especialmente significativo sobre todo en la cadena de suministros, los procesos de control y monitoreo ambiental, y en el mercado de carbono, tres grandes grupos de actividades donde su implementación aporta mucho valor. A su vez, la tokenización puede facilitar la movilización de capital privado para resguardar y restituir el ambiente.

En el eje social asistimos a una nueva forma de intercambio de bienes, servicios y activos entre personas, que prescinde de intermediarios y promueve la inclusión financiera. Sin embargo, como sucede con toda tecnología, existe el riesgo de que blockchain sea utilizada para actividades ilícitas o de forma dañina. La regulación puede reducir estas externalidades negativas, pero puede limitar la fuerza innovadora del ecosistema blockchain.

En cuanto al eje de la gobernanza, los smart contracts y las DAO ofrecen la posibilidad de coordinar de forma nativamente digital, en plataformas descentralizadas y sin intermediarios. A su vez, son cada vez más los gobiernos que deciden implementar proyectos basados en blockchain para garantizar la transparencia y la inmutabilidad de la información.

Sin embargo, las criptomonedas tienen un impacto ambiental significativo, debido a su enorme consumo de energía y la cantidad de residuos electrónicos generados principalmente por el uso de la prueba de trabajo (PoW) como mecanismo de consenso. No obstante, como bien evidencia la migración de Ethereum de PoW a PoS, hay alternativas más eficientes y menos contaminantes.

Quedan muchos interrogantes abiertos respecto a la actualidad y el futuro de blockchain:

- ¿Qué evolución tendrán los mecanismos de consenso y cuáles serán sus implicancias en materia de seguridad y/o eficiencia?,
- ¿Se podrá desarrollar otros productos y aplicaciones blockchain, más allá de las criptomonedas, que sean adoptadas masivamente?,
- ¿Cómo se implementará masivamente esta tecnología para mayor transparencia y coordinación en proyectos relacionados con la sostenibilidad?,
- ¿Cómo será la comunicación e intercambio de información y valores a nivel global?,
- ¿Evolucionará la toma de decisiones en las organizaciones, las transacciones entre individuos y organizaciones?

Más allá de estos interrogantes y otros que puedan surgir, no hay dudas de que blockchain es un tecnología que tendrá un profundo efecto en el mundo digital, y por ende, en nuestra realidad material.

