

La tecnología de cadenas de bloques y la sostenibilidad ambiental

Antecedentes

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) publica los Informes Foresight con el fin de destacar aspectos críticos del cambio ambiental, exponer cuestiones científicas emergentes o tratar problemas ambientales contemporáneos. Ofrecen al público la oportunidad de conocer qué cambios están teniendo lugar en su entorno y las consecuencias de sus decisiones cotidianas, así como de reflexionar sobre la futura orientación de las políticas. La edición número 19 del Informe Foresight del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) analiza la contribución de las características disruptivas de la tecnología de cadenas de bloques a la mejora de la sostenibilidad ambiental.

Resumen

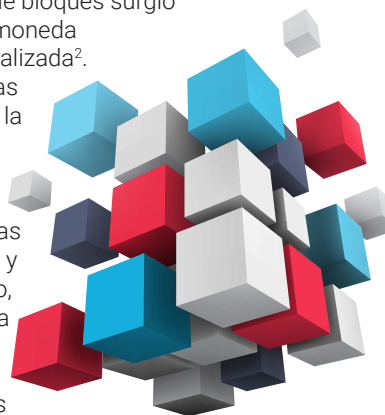
La tecnología de cadenas de bloques es una de las muchas tecnologías emergentes que podrían ayudar a solucionar algunos de los problemas ambientales a los que nos enfrentamos en este momento. El uso de las aplicaciones de cadenas de bloques para abordar los desafíos ambientales gira en torno a la supervisión y el seguimiento de la cadena de suministro, los instrumentos financieros innovadores, el comercio entre pares de valores tokenizados, el establecimiento de sistemas energéticos descentralizados y los recursos comunes. Dichas aplicaciones podrían ser útiles a la hora de supervisar el cumplimiento de los acuerdos multilaterales sobre el medio ambiente por parte de los agentes y sus progresos en la puesta en práctica de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Sin embargo, la adopción de esta tecnología a gran escala exige superar desafíos futuros y actuales, no solo en lo referente al desarrollo de la tecnología de cadenas de bloques, sino también en lo relativo al establecimiento de diversos mecanismos que profundicen en su conocimiento entre responsables de políticas, científicos y desarrolladores de soluciones de cadenas de bloques.

Introducción

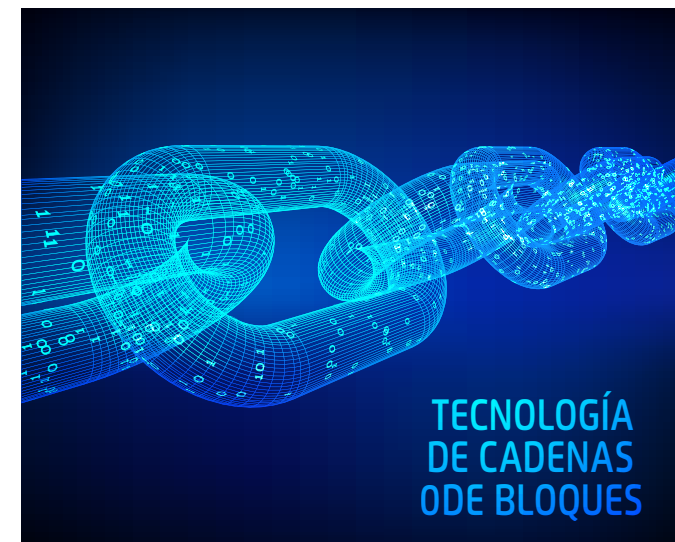
Desde la explosión de los precios de las criptomonedas en 2017, la mayoría de los ciudadanos asocia la cadena de bloques con estas. Sin embargo, durante los últimos años, los expertos han propuesto con creciente frecuencia convertir la cadena de bloques en una posible solución para el desarrollo sostenible, incluida la dimensión ambiental orientada a la sostenibilidad. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París sobre el clima ofrecen oportunidades y desafíos sin precedentes para que los organismos de las Naciones Unidas y otras organizaciones respondan a las necesidades de los gobiernos y la sociedad civil. La cadena de bloques suele considerarse una tecnología disruptiva prometedora que podría ser parte de las innovaciones que serán necesarias para superar algunos de estos desafíos¹.

El concepto de la cadena de bloques surgió en 2008 en forma de una moneda digital encriptada descentralizada².

No obstante, más allá de las criptomonedas, hoy en día la tecnología de cadenas de bloques subyacente tiene el potencial de cambiar la forma en que interactúan las instituciones, las personas y las máquinas. Sin embargo, aún no se sabe con certeza cuáles son las posibles repercusiones de esta tecnología. Diversas partes interesadas —como industrias,



© VAlex / Shutterstock.com



© Iurii Motov / Shutterstock.com

gobiernos y organizaciones sin fines de lucro— esperan que la cadena de bloques, unida a otras tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial (IA) y la Internet de las cosas, tenga un efecto transformador en todos los sectores y en la sociedad (Hedenborg, 2018; Gartner, 2019).

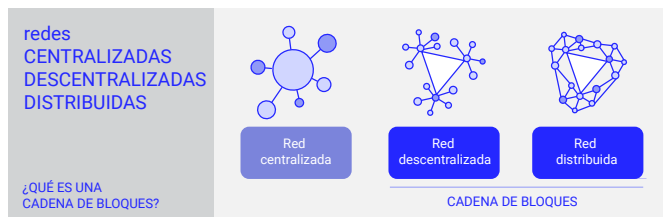
El presente Informe Foresight analiza de qué modo la tecnología de cadenas de bloques podría contribuir a mejorar la gestión de la sostenibilidad ambiental. En este informe, se hace referencia a casos de uso en el contexto del medio ambiente para repasar las características fundamentales de esta tecnología, como el mantenimiento de registros, la transparencia, la transferencia de valor, los ecosistemas tokenizados y la reducción de costes. También se analizan los desafíos asociados a la aplicación de la tecnología de cadenas de bloques y se ofrecen recomendaciones en aras del progreso de las políticas relativas a esta tecnología.

¹ Es preciso señalar que la cadena de bloques no es la panacea que solucionará los problemas ambientales a los que nos enfrentamos en este momento, sino más bien un elemento de apoyo en algunos aspectos que podría ayudar a superarlos.

² Bitcoín y ether son ejemplos de monedas digitales muy conocidos.

La importancia de la cadena de bloques

La desconfianza en las normas que rigen el intercambio y la posesión de recursos da lugar a dificultades para mantener los ecosistemas y gestionar los recursos naturales (Le Sève, Mason y Nassiry, 2018). Una cadena de bloques es un sistema de libro mayor distribuido que se ejecuta en millones de dispositivos conectados mediante Internet dentro de una red distribuida (**gráfico 1**). Cuando se introduce un bloque de datos o un registro en el libro mayor, la información del bloque se vincula con los bloques ya existentes para crear una cadena. A cada bloque se le asigna una firma única en función de la secuencia de datos de ese bloque en particular. Dentro de este libro mayor distribuido, cualquier valor —como dinero, títulos de propiedad sobre las tierras, electricidad e incluso votos— puede almacenarse y transferirse de forma segura. Se trata del medio digital para la transmisión de valor, del mismo modo que Internet fue el primer medio digital para la transmisión de información (Tapscott, D. y Tapscott, A., 2016).



© ar_inside / Shutterstock.com, adaptado por Truong et al., 2016

Gráfico 1: Ilustración de los sistemas descentralizados y distribuidos de las cadenas de bloques.

Como la cadena de bloques es un sistema de libro mayor compartido resistente a la manipulación o al fraude, puede convertirse en un registro de transacciones transparente y fiable (Le Sève, Mason y Nassiry, 2018). En una cadena de bloques, cada transacción tiene un sello temporal, se autentifica mediante contratos inteligentes (Geiregat, 2018)³ y se almacena de modo inalterable sin la intervención de una

³ Un "contrato inteligente" podría definirse como un elemento de *hardware* o *software* que inicia, regula o documenta actos de relevancia jurídica y que depende de eventos predeterminados y digitalmente demostrados a través de los cuales es posible celebrar contratos jurídicamente vinculantes, dependiendo de las circunstancias.



© jsabirova / Shutterstock.com, adaptado de hackernoon y blockgeeks

Gráfico 2: Beneficios de los contratos inteligentes

autoridad central. La ventaja de un contrato inteligente es que reduce los costes transaccionales de los complejos procesos manuales y computacionales asociados a los acuerdos entre varios intermediarios y entidades (Szabo, 1997) (**gráfico 2**). Además, los contratos inteligentes hacen posible la ejecución automática de acuerdos aplicables entre entidades. Esto potencia la eficacia y transparencia de la medición del impacto del comportamiento, el intercambio de valores y el mantenimiento de los registros de transacciones en numerosos sectores. También tiene profundas implicaciones que podrían revolucionar la gestión del medio natural y sus componentes (Jensen y Campbell, 2019).

Vinculación de la cadena de bloques con la gestión ambiental

En este apartado, se exponen posibles casos de uso de la tecnología de cadenas de bloques en cuestiones ambientales de alcance mundial. Dependiendo de las características de esta tecnología, las aplicaciones basadas en la cadena de bloques podrían contribuir a mejorar la gestión del medio ambiente en estas cinco esferas:

- 1) Mantenimiento de registros; 2) Transparencia;
- 3) Transferencia de valor; 4) Ecosistema tokenizado y
- 5) Reducción de costes.

Mantenimiento de registros

Registrar y gestionar los datos ambientales de manera segura es esencial. Sin embargo, esto solo es importante en algunos casos concretos, ya que también es posible conservar datos con seguridad sin recurrir a la tecnología de cadenas de bloques. La supervisión y la preparación de informes en relación con convenciones, las evaluaciones del impacto ambiental y el desarrollo de políticas en aras de la gestión ambiental emplean datos de confianza de alta calidad sobre el entorno natural. Además, es preciso proteger la información sobre el patrimonio ambiental, ya que constituye una prueba de propiedad económica para Estados, empresas y pueblos indígenas. Por ejemplo, la información sobre títulos de propiedad sobre las tierras y titularidad de activos es imprescindible para REDD+, el registro de los datos del comercio de derechos de emisión de carbono⁴, los servicios de los ecosistemas y los datos sanitarios, mientras que la información de pagos es importante para la política de servicios de los ecosistemas.

También debe tenerse en cuenta la vulnerabilidad de los sistemas de registro en papel centralizados. Por ejemplo, cuando el sismo de 2010 causó graves daños en Haití, los edificios municipales que contenían registros en papel (como títulos de propiedad sobre las tierras) fueron destruidos. Un sistema de registros basado en una cadena de bloques podría evitar que se produzcan otras pérdidas de información semejantes. El sistema de libro mayor compartido de cadenas de bloques permite que varios agentes compartan la misma percepción del estado de un sistema en un momento dado con una fuente de verdad inalterable (Meunier, 2018). De esta forma, la cadena de bloques puede establecer un registro de confianza para la gestión de títulos de propiedad sobre las tierras. Incluso en el caso de que una sociedad resultara gravemente afectada desde el punto de vista físico por un desastre natural, una base de datos compuesta por un sistema de cadenas de bloques continuaría siendo segura. La tecnología de cadenas de bloques ofrece sistemas de gestión de datos que permiten prescindir de registros centralizados. Una vez se ha introducido la información en la cadena de bloques, los datos se marcan con un sello temporal, se autentifican y se almacenan de manera inalterable. Esto significa que las soluciones de cadenas de bloques pueden ofrecer una plataforma descentralizada, colaborativa e inmutable para el mantenimiento de registros (Meunier, 2018). El uso de estas plataformas de información descentralizadas puede ayudar, además, a erradicar progresivamente los compartimentos de datos fragmentados existentes.

⁴ Además, registrar el presupuesto de carbono mundial en una cadena de bloques podría resultar beneficioso, ya que sería muy difícil de manipular debido al potencial criptográfico de esta tecnología.

Transparencia

La transparencia es una característica fundamental de la buena gobernanza y un requisito previo para la rendición de cuentas en el sector público y para las empresas, además de generar confianza entre los ciudadanos (Transparencia Internacional, 2009). Los sistemas de gobernanza transparentes permiten establecer procesos y procedimientos claros y facilitan el acceso de los ciudadanos a información pública veraz de forma oportuna (Suk Kim, 2005). La transparencia, mediante la publicación de información, representa —cada vez con más frecuencia— un fundamento de la gobernanza ambiental internacional que tiene por objetivo garantizar que dicha gobernanza sea responsable, legítima y eficaz (Gupta, 2008). Las soluciones de cadenas de bloques pueden proporcionar una fuente de datos inalterable y un registro rastreable y verificable de quién intercambia qué y con quién (Le Sève *et al.*, 2018).

Por ejemplo, la transparencia de la cadena de suministro de los recursos naturales no solo es esencial para la conservación, sino también para la prevención de conflictos y la seguridad humana. Aunque el origen de las mercancías puede verificarse si la información se registra en cadenas de bloques, es importante

recaltar que dichas cadenas no llevan a cabo ningún seguimiento de las mercancías. Así, combinar la tecnología de cadenas de bloques con herramientas de supervisión y seguimiento haría posible recuperar información sobre mecanismos, rutas y condiciones de transporte en cualquier punto de la cadena de suministro, lo que a su vez aumentaría la transparencia de las operaciones de la cadena de suministro de un producto concreto. En un caso de uso, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) también utiliza la cadena de bloques para erradicar la pesca ilegal en el sector del atún en colaboración con ConsenSys. La información de la cadena de suministro que une al pesquero con el distribuidor queda registrada para no dejar margen a la pesca ilegal no declarada y no regulada, así como para evitar que los operadores no respeten los derechos humanos (WWF, 2018). Otra aplicación consiste en facilitar el rastreo de productos químicos, lo cual ayuda a generar confianza entre los consumidores. Las normativas ambientales —como la Directiva sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas o el Registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y preparados químicos— implican que los fabricantes de productos acabados deben gestionar toda la cadena de suministro, no solo desde el punto de vista de la relación coste-eficacia, sino también de la normativa ambiental.

La tecnología de cadenas de bloques también podría aumentar la transparencia durante la ejecución de los acuerdos multilaterales sobre el medio ambiente, algo que con frecuencia requiere recopilar y verificar grandes cantidades de datos. La supervisión del cumplimiento de dichos acuerdos multilaterales podría transformarse gracias a la trazabilidad de los materiales. La Secretaría de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) es consciente del potencial de los sistemas respaldados por cadenas de bloques. La Secretaría de la CITES gestiona el comercio internacional de especies amenazadas y productos derivados, una labor que en la actualidad se lleva a cabo mediante engorrosos trámites en papel. Los sistemas de cadenas de bloques podrían evitar el riesgo de manipulación y errores propio de un sistema de permisos en papel con un registro alternativo e inalterable de permisos procesados, en consonancia con el acuerdo de la CITES (Busse *et al.*, 2019). Una cadena de bloques podría ayudar a llevar a cabo un seguimiento transparente de los datos ambientales y demostrar el estado de los compromisos. Sistemas similares podrían aplicarse a las Secretarías de otros tratados en el marco del mandato del PNUMA.

Los ODS podrían, además, servir como idioma común y punto de partida para aumentar la interconexión de datos heterogéneos en relación con la supervisión y el seguimiento de las cadenas de suministro. Por ejemplo, en el punto donde los ODS 1 (Fin de la pobreza), 12 (Producción y consumo responsables) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres) convergen, la cadena de bloques podría incrementar el apoyo económico a las personas encargadas de la recogida de residuos del sector informal, que es probable que vivan por debajo del umbral de pobreza y se encuentran muy expuestos a sustancias contaminantes y materiales peligrosos. Los residuos recogidos (electrónicos o plásticos) podrían transportarse hasta un socio local independiente y luego entregarse a clientes empresariales con el fin de maximizar la capacidad para transformar los materiales recuperados en nuevos productos. Como compensación por los residuos recogidos, las empresas podrían pagar una prima sobre el precio de mercado, lo que permitiría a las empresas sociales ofrecer una rentabilidad económica significativa a las personas encargadas de la recogida de residuos. Un sistema de seguimiento basado en una cadena de bloques puede ayudar a vigilar las consecuencias de las sustancias peligrosas a lo largo de la cadena de valor, segregar posibles sustancias contaminantes y recompensar con tokens a las personas encargadas de la recogida y a otros intermediarios implicados, con el consiguiente crecimiento del reciclaje.

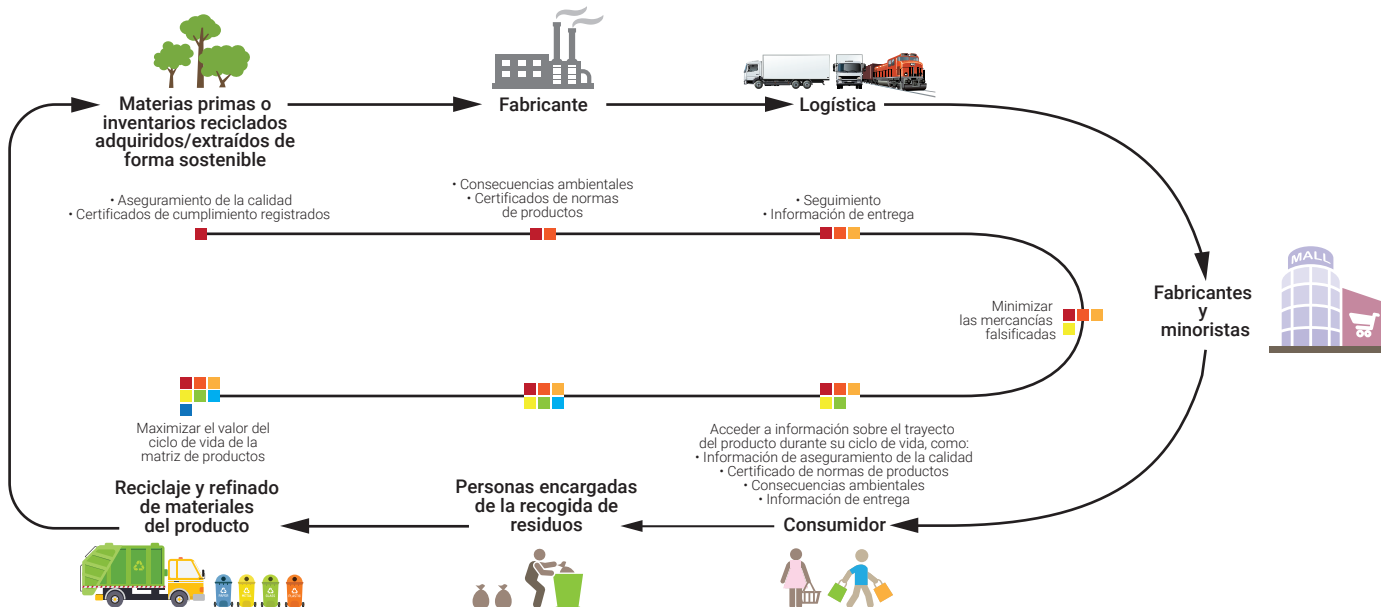
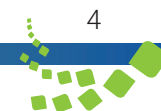


Gráfico 3: Panorámica general de una posible cadena de suministro respaldada por una cadena de bloques

Fuente: los autores



© elenabsl / Shutterstock.com

Transferencia de valor

Los procesos de transferencia de valor, como los pagos transfronterizos, normalmente implicaban un gran número de personas y pasos. Del mismo modo, el comercio de bonos de carbono implica a diversas entidades. Por ejemplo, el Mecanismo para un Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto puede tardar años en verificar los proyectos y validar la transferencia de los bonos, y precisa la participación de numerosos registros nacionales y mundiales. Las soluciones de cadenas de bloques podrían emplearse a modo de mecanismo para ampliar el número de transferencias de valor entre pares sin intermediarios. El libro mayor compartido descentralizado puede compensar y liquidar transacciones entre pares sin una parte centralizada, como demuestran los casos de uso de criptomonedas (Meunier, 2018). CarbonX (de ConsenSys) es un ejemplo de transferencia de valor. Su adquisición y refundición de las compensaciones de las emisiones de carbono en forma de tokens criptográficos en una cadena de bloques privada confirma la procedencia y garantiza la seguridad y la transparencia de todas las transacciones. CarbonX es la primera plataforma de comercio de bonos de carbono entre pares (construida a partir de la cadena de bloques Ethereum) que compra compensaciones de las emisiones de carbono en el marco del plan REDD+, respaldado por las Naciones Unidas. Así se certifica la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de los proyectos de recuperación

silvícola y ecosistémica de todo el mundo, y esos bonos se convierten en una criptomoneda que adopta la forma de un token denominado CxT. Estos tokens se venden posteriormente a distribuidores y fabricantes, que los usan como incentivo para que los consumidores tomen decisiones más sostenibles⁵. Existen también estudios sobre el posible uso de la cadena de bloques en el mercado de carbono que deberá desarrollarse a tenor del artículo 6 del Acuerdo de París (Dong *et al.*, 2018). La cadena de bloques podría reforzar la confianza entre los participantes en el comercio de emisiones al hacer posible el seguimiento e intercambio de unidades de reducción de emisiones conforme a los mecanismos de bonos de compensación de las emisiones de carbono, como el enfoque cooperativo estipulado en el artículo 6.2, los planes voluntarios, y los mecanismos bilaterales y subnacionales. Un libro mayor compartido no solo evitaría el riesgo de doble contabilización de las reducciones de las emisiones, sino que también aumentaría la transparencia en la asignación de derechos de emisión a los emisores en el programa de comercio de emisiones en el marco del mecanismo de límites máximos y comercio.

La cadena de bloques es compatible, además, con la Internet de las cosas. La Internet de las cosas consiste en la conexión recíproca a través de Internet de dispositivos informáticos integrados en los objetos cotidianos, lo que les permite intercambiar datos en una red sin interacción humana. Esto haría posible la transferencia de valor ambiental en forma de activos virtuales utilizando contratos inteligentes en redes entre pares. Los recursos ambientales pueden ser, por tanto, activos transferibles mediante la Internet de las cosas. Estos contratos inteligentes, consistentes en capas que se añaden a las redes de la Internet de las cosas y las cadenas de bloques, son eficaces para la gestión de las interacciones basadas en datos. Por ejemplo, la ciudad australiana de Fremantle usa Power Ledger, que permite a los distribuidores de energía y a sus clientes intercambiar recursos energéticos e hídricos para desarrollar una estrategia de ciudad inteligente (Power Ledger, 2018). El sistema de cadenas de bloques de Power Ledger facilita el comercio de electricidad renovable entre pares dejando que los particulares vendan su excedente de energía solar directamente, en lugar de venderlo a la red eléctrica tradicional. En esencia, las microrredes energéticas comunitarias basadas en cadenas de bloques hacen posible el comercio de energía localizado entre consumidores, que queda registrado de forma segura y a prueba de manipulaciones (Andoni *et al.*, 2019).

⁵ <https://www.carbonx.ca/>

Ecosistema tokenizado

El comportamiento sostenible en el ámbito personal podría ser difícil de incentivar sin un mecanismo que siga y evalúe los cambios de conducta. Debido a las limitaciones tecnológicas, no resulta fácil encontrar un modo de gestionar de forma verificable y transparente la sostenibilidad ambiental. La tecnología de cadenas de bloques podría, sin embargo, ser la solución. Los tokens se utilizan con frecuencia a modo de representación digital de activos como productos básicos, existencias e incluso productos físicos (Unión Europea [UE], 2019). Los activos tokenizados pueden ser rastreados e intercambiados en redes de cadenas de bloques seguras. Tokenizar las recompensas y los recursos naturales en aras del consenso puede suponer un incentivo para que los participantes se unan a la red y operen dentro del sistema. Los sistemas tokenizados también amplifican el efecto de red que fortalece el ecosistema. Los ecosistemas tokenizados de una cadena de bloques sirven para promover cambios conductuales positivos.

Otra aplicación potencial de la cadena de bloques en el terreno del cambio conductual podría consistir en rastrear, medir y recompensar conductas ecológicamente sostenibles. Por ejemplo, RecycleToCoin es una aplicación móvil que recompensa el reciclaje del 90% de todos los plásticos, no solo de botellas de tereftalato de polietileno, sino también de latas de aluminio para bebidas y latas de acero para alimentos. Estos datos se introducen en un sistema de datos basado en cadenas de bloques al que todas las partes interesadas pueden acceder para garantizar la transparencia. Tras llevar a cabo el reciclaje, los usuarios reciben puntos que pueden canjear por recompensas, como tarjetas regalo electrónicas u otros premios de los socios participantes⁶.

Esta economía tokenizada también se aplica a la recopilación y el intercambio de datos. Aunque las empresas generan enormes cantidades de datos, a menudo encuentran dificultades para compartirlos a través de medios seguros y de confianza. Ocean Protocol está creando un ecosistema basado en cadenas de bloques para el intercambio de datos; mediante tokens, Ocean Protocol promueve el intercambio de datos entre proveedores y usuarios de datos.

⁶ <https://www.recycling-magazine.com/2017/11/11/first-recycling-initiative-blockchain/>

Este protocolo persigue principalmente el intercambio de datos para impulsar el desarrollo de aplicaciones de inteligencia artificial (IA), ya que es en esta industria en particular donde están emergiendo estas necesidades de datos. También potencia el uso de la IA almacenando metadatos, vinculando activos y servicios, y proporcionando un marco de licencias; además, permite que los usuarios monetizen sus datos sin sacrificar su privacidad y control⁷.

El ecosistema tokenizado se emplea asimismo en plataformas de inversión democratizadas mediante ofertas iniciales de monedas (Initial Coin Offering, ICO) por medio del desarrollo de criptomonedas en la red de cadenas de bloques que adoptan la forma de un token vinculado a información o activos ambientales. Dado que las ICO se enfrentan a normativas más estrictas en diversos países, la comunidad de cadenas de bloques dedica cada vez más atención a las ofertas de tokens de seguridad (Security Token Offering, STO) como vía alternativa para transferir el valor tokenizado. Debido a que las STO cumplen la normativa financiera vigente, los inversores pueden comprar valores tokenizados (Schletz, Nassiry y Lee, 2020). Las STO están cobrando cada vez más importancia en aplicaciones de sostenibilidad ambiental. Por ejemplo, BBVA, un banco español multinacional, ha utilizado una cadena de bloques para negociar las condiciones de un bono verde estructurado⁸. Otra aplicación de las STO sería la emisión de bonos verdes.

Según HSBC y la Sustainable Digital Finance Alliance (SDFA), Filipinas ha creado un marco de tokens de seguridad y reconoce los activos digitales, además de promover inversiones verdes motivadas por los desastres naturales de origen climático (HSBC y SDFA, 2019). Existe un interés creciente por parte de las instituciones financieras y los gobiernos por aplicar la tecnología de cadenas de bloques para revolucionar los modelos de financiación.

Reducción de costes

Procesar transacciones cuando se manejan grandes conjuntos de datos globales requiere mucho tiempo, pero es posible utilizar aplicaciones basadas en cadenas de bloques para mejorar las eficiencias operativas.

Según el informe de *McKinsey Digital* (Carson et al. 2018), el valor estratégico de la cadena de bloques reside, sobre todo, en la reducción de costes a corto plazo. Prescindir de los intermediarios y de la carga administrativa de los archivos puede reducir el coste de la gestión de los datos y el procesamiento de las transacciones.

Por ejemplo, el Programa Mundial de Alimentos (PMA) de las Naciones Unidas ha utilizado la cadena de bloques Ethereum en un programa piloto denominado Building Blocks para transferir efectivo mediante vales o tarjetas de débito prepagadas que los ciudadanos pueden usar para comprar alimentos por su cuenta en Jordania y el Pakistán.

Esta iniciativa consiguió reducir los costes de pago asociados a las transferencias en efectivo y registró una disminución del 98% en lo tocante a los costes, ya que las transacciones entre pares no necesitan ser verificadas por costosos intermediarios, como bancos y otras instituciones. Además, en esta iniciativa la cadena de bloques es esencial para rastrear la propiedad de los activos sin necesidad de una autoridad central, lo que podría acelerar las transacciones y minimizar al mismo tiempo la posibilidad de fraude o mala gestión de los datos al proteger los datos de los beneficiarios, controlar los riesgos financieros y establecer operaciones de asistencia con mayor rapidez en situaciones de emergencia⁹. Es preciso señalar, no obstante, que la cadena de bloques sigue siendo una estructura de datos ineficiente desde el punto de vista computacional que requiere abundantes recursos. En una cadena de bloques, la eficiencia operativa puede alcanzarse en circunstancias limitadas. El apartado siguiente trata con mayor detalle los desafíos de la cadena de bloques.

Para que la ayuda internacional a la sostenibilidad ambiental sea más eficaz, una economía digital equipada con cadenas de bloques y otras tecnologías emergentes podría reducir los costes de distribución de los recursos económicos, aumentar la transparencia para seguir el recorrido de los fondos desde los donantes hasta los beneficiarios previstos, y paliar el coste de la presentación de informes de varias capas mediante la autoverificabilidad de la tecnología de cadenas de bloques. El **gráfico 4** constituye una representación gráfica de una posible economía verde digital.



Gráfico 4: Economía verde digital

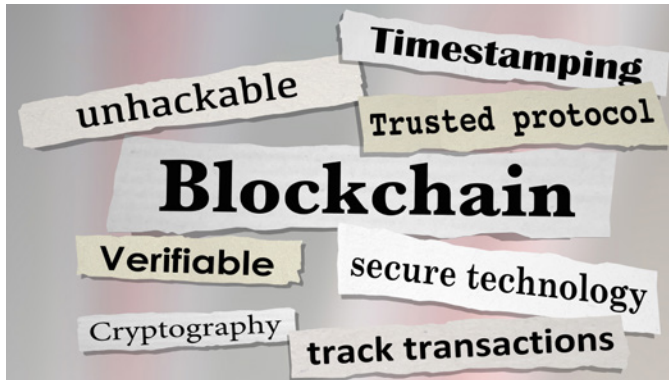
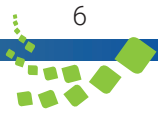
Desafíos tecnológicos

En la actualidad, la mayoría de los casos de uso son conceptuales o se encuentran en su fase piloto, y solo unos pocos han sido completamente desarrollados. Las aplicaciones de cadenas de bloques para fines ambientales existentes se centran en el comercio de recursos naturales o permisos entre pares, la supervisión y seguimiento de las cadenas de suministro, nuevos modelos de financiación y el establecimiento de sistemas energéticos descentralizados. Sin embargo, los desafíos continúan estando presentes porque esta tecnología aún se encuentra en su etapa de desarrollo inicial. Aunque podría estimular la innovación en el terreno de la gestión ambiental, la adopción de cadenas de bloques a gran escala depende de que se superen con éxito algunos de los riesgos que conlleva esta tecnología, así como de la agrupación por pares experimental con otras tecnologías emergentes y existentes. A continuación, se exponen algunos de los desafíos inherentes

⁷ <https://oceanprotocol.com/>

⁸ <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/bbva-emite-para-mapfre-el-primero-bono-verde-estructurado-utilizando-tecnologia-blockchain/>

⁹ <https://innovation.wfp.org/project/building-blocks>



© iQoncept / Shutterstock.com

a la tecnología de cadenas de bloques; aunque no se trata de una lista exhaustiva, es representativa de las dificultades que es preciso superar.

Consumo de energía

Crear un nuevo bloque en las cadenas requiere una gran cantidad de energía; un ejemplo de esto es el proceso de validación de una transacción mediante mecanismos de consenso como la prueba de trabajo (Proof of Work, PoW), que es el algoritmo que utiliza bitcoin (Ge *et al.* 2017).

Se calcula que la minería de la red bitcoin consume más de 58 TWh de electricidad al año, lo cual representa el 0,21% del consumo energético mundial y equivale al consumo de energía total de Suiza (Baraniuk, 2019).

Las explotaciones mineras a gran escala suelen establecerse en zonas en las que el precio de la electricidad es bajo y está muy subvencionado. La densidad energética necesaria para la minería puede ser muy elevada, especialmente cuando se añade potencia para refrigerar los equipos. Una posible solución podría ser la adopción de la “minería verde”, en la que se utilizan energías renovables para las operaciones mineras. La minería verde está siendo objeto de creciente interés: en 2018 se invirtieron 134 millones de dólares de los Estados Unidos con este fin (Climate-KIC, 2018).

Los casos de uso de la cadena de bloques en el contexto ambiental descritos en este Informe Foresight se han construido sobre mecanismos de consenso alternativos, como la prueba de participación (Proof of Stake, PoS) o la

prueba de autoridad (Proof of Authority, PoA), que consumen menos energía. El equipo de desarrollo de Ethereum ha estado trabajando para actualizar su protocolo, denominado Ethereum 2.0. Una de las mejoras consiste en adoptar PoS en lugar de PoW. De este modo, podemos observar que los mecanismos de consenso todavía siguen evolucionando. Dependiendo de su evolución, sería posible rebajar el consumo de energía a la hora de aplicar las cadenas de bloques y ampliar su escala con fines comerciales. Por el contrario, un sistema privado y sin permisos como Hyperledger Fabric no causa ningún conflicto en relación con el consumo de energía gracias a su bajo número de nodos completos (Franke *et al.*, 2020).

Escalabilidad

La poca madurez de esta tecnología continúa representando un desafío para la sostenibilidad ambiental de las aplicaciones a gran escala. Por ejemplo, será necesario ajustar la oferta y la demanda en tiempo real si se integran aplicaciones de cadenas de bloques para gestionar redes energéticas. Esto es difícil de gestionar sin que las transacciones se puedan desarrollar a gran velocidad cuando existen enormes conjuntos de datos. La cadena de bloques necesita tiempo para procesar las transacciones requeridas para mantener una red inalterable y copiar todas las transacciones a todos los nodos de la red. Esto conlleva dificultades para procesar las transacciones en términos de velocidad y escala (Brody, 2018). La red bitcoin, por ejemplo, está limitada a una velocidad sostenida de 7 transacciones por segundo (TPS) debido a lo reducido del tamaño de los bloques con arreglo al protocolo bitcoin. Por su parte, la cadena de bloques Ethereum admite actualmente unas 15 TPS a causa de un límite de codificación fija de cálculos por bloque (Ge *et al.*, 2017). La revolución de los mecanismos de consenso podría mejorar la escalabilidad de las transacciones de cadenas de bloques, como en el caso del consumo de energía.

Interoperabilidad

Existen distintas plataformas de cadenas de bloques, pero la interoperabilidad entre ellas es una cuestión aún sin resolver (UE, 2019). En la actual etapa de desarrollo inicial de esta tecnología, las plataformas presentan diferencias tecnológicas. No será posible materializar todo el potencial de la cadena de bloques a menos que las plataformas funcionen de manera sinérgica. Por ejemplo, los sectores del transporte y de la energía están estrechamente vinculados entre sí. La adopción acelerada de la movilidad eléctrica y el aumento de la demanda

de transacciones fluidas por parte de los consumidores exigen ampliar la interoperabilidad de los sistemas de infraestructuras (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2019). La operabilidad intersectorial de las plataformas es esencial para aplicar la tecnología digital a la infraestructura sostenible.

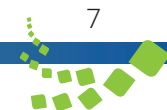
Normativa

La ausencia de apoyo jurídico y normativo está afectando a la trayectoria de desarrollo de esta tecnología (Yeoh, 2017). Los casos de uso de cadenas de bloques no pueden ampliar su escala a niveles comerciales sin antes conciliar las inquietudes normativas relativas a cuestiones como la privacidad, la transmisión de dinero o valor, la lucha contra el blanqueo de dinero y la notificación de información. Por ejemplo, el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) de la UE impone límites estrictos sobre el modo de almacenar y guardar datos personales. Los datos personales conservados de forma inalterable en cadenas de bloques podrían, por ejemplo, contravenir el “derecho al olvido” del RGPD (Miliard, 2018).

Casos de uso limitados en el Sur Global¹⁰

Mientras que los expertos ambientales estudian con creciente interés el potencial de las tecnologías innovadoras para solucionar los problemas ambientales, el número de casos de uso de la tecnología de cadenas de bloques en el Sur Global es aún limitado. Numerosas empresas, organizaciones sin fines de lucro e incluso el sector público han probado aplicaciones de cadenas de bloques para responder a los desafíos de sostenibilidad encontrados en los países desarrollados. Para lograr una adopción acelerada y a escala de las tecnologías emergentes en aras del bien social, es fundamental examinar esta tecnología en el contexto del Sur Global. Aprender de los primeros casos puede ayudar a entender qué desafíos conlleva emplear esta tecnología en el Sur Global. Por ejemplo, desde 2014 existen varias iniciativas en Ghana que tienen por objeto estudiar un sistema de registro de las tierras basado en cadenas de bloques. El Gobierno de Ghana firmó un memorando de entendimiento con IBM para acelerar el desarrollo de dicho registro. En el caso de Georgia, una economía en transición, en 2018 se registraron más de 1,5 millones de títulos de propiedad

¹⁰ El Sur Global se compone de pequeños Estados insulares en desarrollo (PEID), países menos adelantados (PMA), países en desarrollo sin litoral (PDSL) y economías emergentes y en transición.



sobre las tierras en su sistema de cadenas de bloques (Eder, 2019). Al comparar ambos casos, Shang y Price (2019) indican que es fundamental que las partes interesadas y los estudiosos pertinentes conozcan en profundidad esta tecnología para que los proyectos públicos basados en cadenas de bloques tengan éxito. Otro aspecto importante para multiplicar los casos de uso en el Sur Global es lograr que se utilice un volumen de datos y transacciones suficiente en la cadena de bloques. La tecnología de cadenas de bloques no soluciona por sí sola el desafío que supone la recopilación de datos, ya que su finalidad es gestionar información, datos y valor (Schmidt y Sandner, 2017). Por este motivo, es esencial disponer de una cantidad suficiente de datos cualificados que puedan utilizarse en la cadena de bloques, lo cual continúa siendo difícil en el Sur Global. Por último, la mayoría de los países del Sur Global también padecen una brecha digital (Naciones Unidas, 2017)¹¹ que puede obstaculizar la innovación en la evolución de sus economías digitales.

Superar los desafíos actuales, descritos anteriormente, podría ser crucial para aplicar la tecnología de cadenas de bloques en aras de la sostenibilidad ambiental a mayor escala. La tecnología aún está evolucionando y tardará un tiempo en alcanzar la madurez. Según el ciclo de sobreexpectación de Gartner (gráfico 5), tras las enormes expectativas suscitadas por esta tecnología en la década de 2010, la tecnología de cadenas de bloques cayó en el abismo de la desilusión, ya que no cumplió las expectativas y la mayoría de los proyectos de cadenas de bloques empresariales están atascados en la etapa experimental (Gartner, 2019). Sin embargo, el análisis de Gartner también señala que la tecnología de cadenas de bloques podría llegar a ser completamente escalable y técnicamente operativa a finales de la década de 2020 debido a la acumulación de experimentos y proyectos innovadores que emplean cadenas de bloques. Además, para maximizar sus beneficios es necesario el desarrollo simultáneo de otras tecnologías, como la Internet de las cosas, la inteligencia artificial y la computación cuántica. Aparte de los avances tecnológicos, establecer una normativa adecuada es otro factor clave para promover la sostenibilidad ambiental junto con otras tecnologías emergentes. Es importante que los responsables de políticas aprendan de los casos de uso y proyectos piloto con el fin de prepararse para cosechar todos los beneficios de estas tecnologías.

¹¹ Disparidad digital entre los países desarrollados y en desarrollo en función de su nivel educativo, conectividad a Internet y barreras idiomáticas.

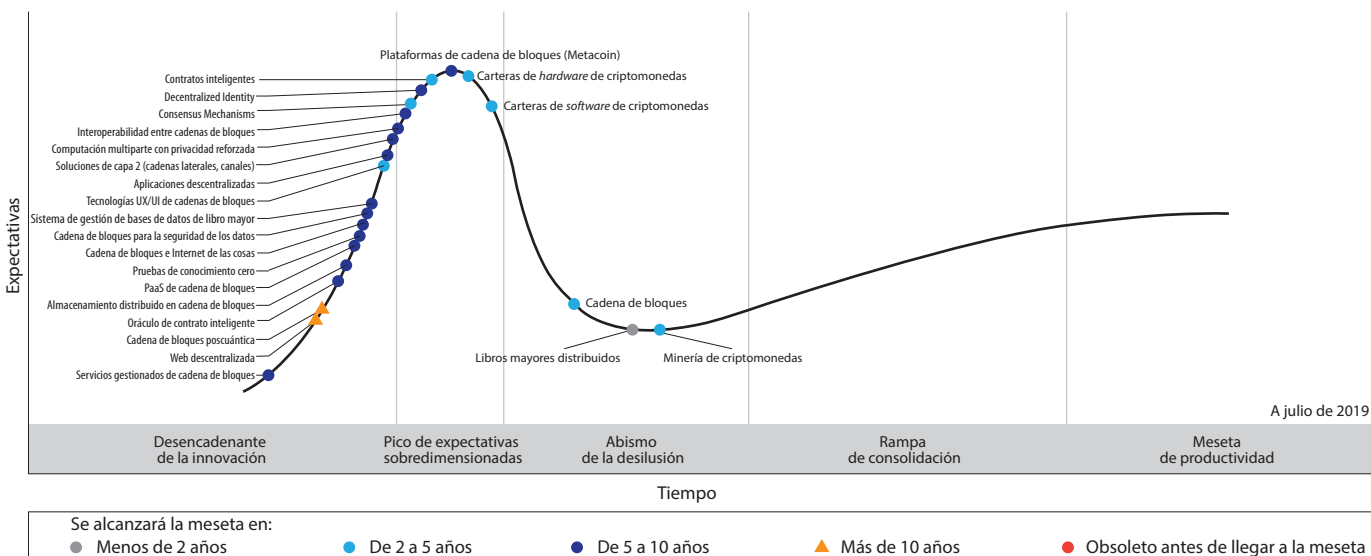


Gráfico 5: Ciclo de sobreexpectación de las tecnologías de cadenas de bloques

Fuente: Gartner, 2019

Implicaciones normativas

Las características disruptivas de la cadena de bloques suelen pasarse por alto debido a los desafíos existentes. Dichas características han dado lugar a la aparición de aplicaciones que demuestran y estudian el uso de la tecnología para mejorar las condiciones ambientales y sociales de nuestro planeta. Sin embargo, es igualmente imperativo explorar las consecuencias imprevistas asociadas a la cadena de bloques, sobre todo a través de diversas técnicas de previsión que ayuden a desarrollar la capacidad de anticipación necesaria para entender y solucionar los desafíos venideros. La escasez de profesionales familiarizados con la tecnología de cadenas de bloques y las cuestiones ambientales también impide que las partes interesadas pertinentes comprendan adecuadamente el potencial de dicha tecnología para la sostenibilidad ambiental. Si bien la tecnología de cadenas de bloques aún se encuentra en una fase incipiente, es importante reconocer las oportunidades que puede crear para mejorar nuestro planeta. A fin de superar el desafío anteriormente mencionado y promover la aplicación de la tecnología de cadenas de bloques para cumplir nuestros objetivos ambientales, se proponen las siguientes iniciativas:

- **Diálogos a escala mundial sobre la tecnología de cadenas de bloques centrados en el medio natural.** Responsables de políticas, científicos y desarrolladores de cadenas de bloques pueden crear, entre todos, una visión unificada integrando el conocimiento avanzado y práctico de la cadena de bloques fusionada con otras tecnologías emergentes. Esto contribuirá a mejorar las operaciones de gestión ambiental, como la supervisión de las cadenas de suministro, las transmisiones de energía, el seguimiento de las emisiones, el comercio de emisiones de carbono o el cumplimiento de la Agenda 2030 y otros objetivos de los convenios ambientales multilaterales. Por medio de estos diálogos, los sectores público y privado se ayudarían entre sí para compartir las implicaciones positivas y negativas de la cadena de bloques en cuestiones específicas de la gestión de la sostenibilidad ambiental. Esto ayudaría a los países a crear un entorno propicio, que incluiría legislación, normativas y gobernanza para crear aplicaciones de cadenas de bloques significativas integradas en la naturaleza. También es importante hacer balance de los resultados de las implementaciones piloto y compartir las lecciones aprendidas.

- **Establecimiento de marcos jurídicos y normativos coherentes.** La ausencia de marcos jurídicos, normas y normativas que gobiernen la tecnología de cadenas de bloques representa un problema para la implantación a gran escala de este tipo de soluciones. Esto está creando confusión entre la comunidad de las cadenas de bloques acerca del modo de cumplir la legislación vigente en materia de protección de datos y privacidad. Los responsables de políticas deben contemplar la posibilidad de cambiar la legislación actual para facilitar el uso de modelos descentralizados. Un número creciente de gobiernos está analizando los riesgos y el potencial de la cadena de bloques, tras lo cual llegará la legislación y la normativa de esta tecnología. El sector privado ha estudiado la aplicación de la cadena de bloques a la sostenibilidad ambiental. Para impulsar la futura evolución de los modelos de negocio basados en cadenas de bloques, es imperativo evaluar y elaborar políticas, normativas y leyes que los sustenten. Es importante, asimismo, forjar un vínculo más estrecho entre los responsables de políticas y los expertos en materia de cadenas de bloques en dominios que versen sobre cuestiones específicas para posibilitar el aprendizaje mutuo. Para conseguirlo, las organizaciones internacionales podrían congregarse a las partes interesadas con el fin de promover el desarrollo de marcos normativos que faciliten la creación de entornos propicios para la innovación mediante las cadenas de bloques. También es importante fomentar la

investigación sobre la gobernanza de la cadena de bloques, así como sobre las repercusiones que esta tecnología puede tener sobre la sociedad y el medio ambiente.

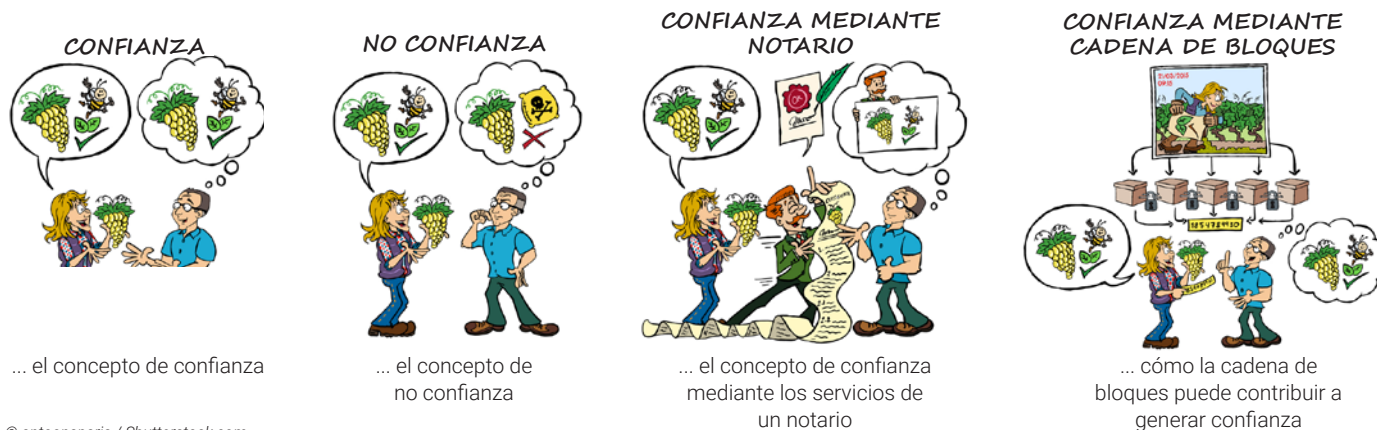
- **Pruebas en vivo de tecnologías innovadoras en entornos controlados.** Los países podrían crear entornos controlados, o campos de pruebas normativos, en los que pudieran ponerse a prueba la cadena de bloques y otras tecnologías innovadoras. Dichos campos de pruebas normativos podrían ayudar a implantar nuevas tecnologías de un modo rápido y escalable. Una interfaz piloto de este tipo serviría para determinar si los resultados del estudio serían aplicables en el entorno real. Esta tentativa podría, en última instancia, ampliar el conocimiento de las diversas cadenas de bloques entre las partes interesadas. Los reguladores de varios países, como Australia y Singapur, ya están dando el impulso necesario a la innovación con la cadena de bloques estableciendo campos de pruebas normativos que facilitan las pruebas y los modelos pilotos de este tipo de proyectos (Cognizant, 2017).
- **Establecimiento o mejora de centros y aceleradores nacionales de innovación.** De este modo, se podría ampliar el número de casos de uso y su pertinencia e invertir en el conocimiento de la cadena de datos, junto con otras tecnologías emergentes. Dichos centros de innovación contribuirían a aumentar y ampliar la capacidad de los profesionales locales con miras a desarrollar y operar proyectos locales e integrarlos en las infraestructuras de

cadenas de bloques existentes al tiempo que garantizan su interoperabilidad. Este objetivo podría alcanzarse desarrollando prototipos locales o ampliando la escala de aquellas soluciones de cadenas de bloques que han demostrado ser beneficiosas para el medio natural, explorando e identificando cadenas de bloques y mecanismos de consenso específicos susceptibles de ampliarse con un menor consumo de energía, y facilitando la mejora de las políticas por medio de procesos participativos junto con los responsables de políticas, el sector privado y las comunidades locales para ayudar a alcanzar unos resultados equitativos.

Conclusión

Las cadenas de bloques que mejoran el mantenimiento de registros, la transparencia, la transferencia de valores, los ecosistemas tokenizados y la reducción de costes demuestran el potencial de esta tecnología para abordar los desafíos ambientales mundiales y contribuir a solucionar problemas como el cambio climático, la energía, la conservación de la diversidad biológica, la seguridad hídrica, la sostenibilidad de los océanos y la contaminación atmosférica. Pese a tratarse de una tecnología en una etapa de desarrollo aún rudimentaria, las cadenas de bloques están siendo adoptadas por negocios, empresas emergentes y organizaciones de forma colaborativa para responder a diversos problemas ambientales y sociales. Además, la posibilidad de aplicar esta tecnología para ampliar la escala de las soluciones de cadenas de bloques con conciencia ambiental podría ayudar a superar desafíos específicos. Sin embargo, existen algunas dificultades sistémicas que restringen su adopción o integración. Por este motivo, se necesitan más estudios técnicos para analizar y superar los obstáculos que limitan la adopción y el uso eficaces de las cadenas de bloques. Los posibles beneficios de las intervenciones innovadoras en materia de políticas, el establecimiento de marcos jurídicos y normativos y el intercambio de conocimientos entre responsables de políticas, científicos y profesionales de las cadenas de bloques ofrecen oportunidades para solucionar problemas ambientales de alcance mundial.

Un agricultor y su cliente representan los beneficios de la tecnología de cadenas de bloques



... el concepto de confianza

... el concepto de no confianza

... el concepto de confianza mediante los servicios de un notario

... cómo la cadena de bloques puede contribuir a generar confianza

Agradecimientos

Autores

Principales: Toyo Kawabata (PNUMA), Minang Acharya (PNUMA)

Coautores: Tsubasa Enomoto (PNUMA), Sai Aashirvad Konda (Instituto Universitario de Altos Estudios Internacionales, Ginebra).

Revisores

Revisores internos: Benjamin Simmons (Green Growth Knowledge Platform), Sandor Frigiyik, Angeline Djampou, Virginia Gitari, Samuel Opiyo (PNUMA)

Revisores externos: Ana Cardoso (Asociación PNUMA-DTU) y Marco Christian Schletz (Asociación PNUMA-DTU)

Equipo de los Informes Foresight del PNUMA: Alexandre Caldas, Sandor Frigiyik, Audrey Ringler, Erick Litswa, Pascal Muchesia

Contacto

unep-foresight@un.org

Descargo de responsabilidad

Las designaciones utilizadas y la presentación no implican la expresión de ningún tipo de opinión por parte del PNUMA ni de los organismos cooperadores en relación con la condición jurídica de ningún país, territorio, ciudad o área, o de sus autoridades, ni con respecto a la delimitación de sus fronteras o límites.

© Mapas, imágenes e ilustraciones según se especifica.

Referencias

- Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D. et al. (2019). "Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 100, págs. 143 a 174.
- Baraniuk, C. (2019). "Bitcoin's energy consumption 'equals that of Switzerland'". *BBC News*, 3 de julio.
- Brody, P. R. (2018). "How blockchains will industrialize a renewable grid". En *Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains*. Marke, A. (ed.). Elsevier. Capítulo 6, págs. 83 a 91.
- Busse, A., Eberhardt, J., Frost, S., Kim, D.-H., Weibier, T., Renner, L. et al. (2019). "A Response to the United Nations CITES blockchain challenge: Incremental and integrative PoA-based permit exchange". *IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC) de 2019*. IEEE, págs. 320 a 328. https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/9170/4/busse_et_al_2019.pdf.
- Carson, B., Romanelli, G., Walsh, P. y Zhumayev, A. (2018). "Blockchain beyond the hype: What is the strategic business value?". *McKinsey Digital*, 19 de junio. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/blockchain-beyond-the-hype-what-is-the-strategic-business-value>.
- Climate-KIC (2018). "Distributed Ledger Technology for Climate Action Assessment". <https://www.climate-kic.org/wp-content/uploads/2018/11/DLT-for-Climate-Action-Assessment-Nov-2018.pdf>.
- Cognizant (2017). "The Future of Blockchain in Asia-Pacific". *Digital Systems & Technology*. China. <https://www.cognizant.com/futureofwork/whitepaper/the-future-of-blockchain-in-asia-pacific>.
- Dong, X., Mok, R., Tabassum, D., Guigon, P., Ferreira, E., Sinha, C. S. et al. (2018). "Blockchain and Emerging Digital Technologies for Enhancing post-2020 Climate Markets". Washington, D.C.: Banco Mundial. <http://documents.worldbank.org/curated/en/942981521464296927/Blockchain-and-emerging-digital-technologies-for-enhancing-post-2020-climate-markets>.
- Eder, G. (2019). "Digital transformation: Blockchain and land titles". *Global Anti-corruption & Integrity Forum de la OCDE de 2019*. París, Centro de Conferencias de la OCDE. https://www.oecd.org/corruption/integrity-forum/academic-papers/Georg%20Eder-%20Blockchain%20-%20Ghana_verified.pdf.
- Fondo Mundial para la Naturaleza (2018). "How blockchain & a smartphone can stamp out illegal fishing and slavery in the tuna industry". <https://www.wwf.org.au/news/news/2018/how-blockchain-and-a-smartphone-can-stamp-out-illegal-fishing-and-slavery-in-the-tuna-industry#gs.aoz56y>.
- Franke, L. A., Schletz, M. y Salomo, S. (2020). "Designing a Blockchain Model for the Paris Agreement's Carbon Market Mechanism". *Sustainability* 12(3), 1068. <https://doi.org/10.3390/su12031068>.
- Gartner (2019). "Hype cycle for blockchain business". <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-09-12-gartner-2019-hype-cycle-for-blockchain-business-shows>.
- Ge, L., Brewster, C., Spek, J., Smeenk, A., Top, J., van Diepen, F. et al. (2017). *Blockchain for Agriculture and Food: Findings from the Pilot Study*. Wageningen: Wageningen Economic Research. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/426747>.
- Geiregat, S. (2018). "Cryptocurrencies are (smart) contracts". *Computer law & security review* 34(5), págs. 1.144 a 1.149. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2018.05.030>.
- Hedenborg, T. (2018). "Transforming industry to meet the needs of a changing society". *Shaping Europe's digital future*, 2 de febrero de 2018. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/blogposts/transforming-industry-meet-needs-changing-society-1>

- HSBC y Sustainable Digital Finance Alliance (2019). "Blockchain: Gateway for Sustainability Linked Bonds - Widening Access to Finance Block by Block". Amsterdam: HSBC Centre of Sustainable Finance. <https://www.sustainablefinance.hsbc.com/-/media/gbm/reports/sustainable-financing/blockchain-gateway-for-sustainability-linked-bonds.pdf>.
- Jensen, D. y Campbell, J. (2019). "The case for a digital ecosystem for the environment: Bringing together data, algorithms and insights for sustainable development". *Cuarta Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*. Nairobi, Kenya. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10387.73764>
- Le Sève, M. D., Mason, N. y Nassiry, D. (2018). "Delivering Blockchain's Potential for Environmental Sustainability". Londres: ODI. <https://odi.org/en/publications/delivering-blockchains-potential-for-environmental-sustainability/>.
- Meunier, S. (2018). "Blockchain 101: What is blockchain and how does this revolutionary technology work?". En *Transforming Climate Finance and Green Investment with Blockchains*. Marke, A. (ed.). Elsevier. Capítulo 3, págs. 23 a 34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814447-3.00003-3>.
- Miliard, M. (2018). "As blockchain proves its worth for healthcare, regulatory questions remain". *Healthcare IT News*, 11 de diciembre. <https://www.healthcareitnews.com/news/blockchain-proves-its-worth-healthcare-regulatory-questions-remain>.
- Naciones Unidas (2017). *United Nations E-Government Survey 2016: E-Government in Support of Sustainable Development*. Nueva York. <https://doi.org/10.18356/d719b252-en>.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2019). "Blockchain technologies as a digital enabler for sustainable infrastructure". *OECD Environment Policy Papers*, 16. <https://doi.org/10.1787/Oec26947-en>.
- Power Ledger (2018). "Project update: Fremantle Smart City Development", 15 de febrero. <https://medium.com/power-ledger/project-update-fremantle-smart-city-development-b16ccce2eb8f>.
- Schletz, M., Nassiry, D. y Lee, M.-K. (2020). "Blockchain and Tokenized Securities: The Potential for Green Finance". Instituto del Banco Asiático de Desarrollo. <http://hdl.handle.net/11540/11466>.
- Schmidt, K. y Sandner, P. (2017). "Solving Challenges in Developing Countries with Blockchain Technology". Frankfurt School Blockchain Center. http://explore-ip.com/2017_Solving-Challenges-in-Developing-Countries-with-Blockchain-Technology.pdf.
- Shang, Q. y Price, A. (2019). "A Blockchain-based land titling project in the Republic of Georgia: Rebuilding public trust and lessons for future pilot projects". *Innovations: Technology, Governance, Globalization* 12(3-4), págs. 72 a 78. https://doi.org/10.1162/inov_a_00276.
- Szabo, N. (1997). "Formalizing and securing relationships on public networks". *First Monday* 2(9). <https://doi.org/10.5210/fm.v2i9.548>.
- Tapscott, D. y Tapscott, A. (2016). "The impact of the blockchain goes beyond financial services". *Harvard Business Review* 10(7).
- Unión Europea (2019). "Scalability, Interoperability and Sustainability of Blockchains". https://www.eublockchainforum.eu/sites/default/files/reports/report_scalability_06_03_2019.pdf.
- Yeoh, P. (2017). "Regulatory issues in blockchain technology". *Journal of Financial Regulation and Compliance* 25(2), págs. 196 a 208. <https://doi.org/10.1108/JFRC-08-2016-0068>.



Para consultar la edición actual y las ediciones anteriores en línea y descargar los Informes Foresight del PNUMA, acceda a:

<https://wesr.unep.org/foresight>