

La aplicación de la tecnología blockchain en las ciudades inteligentes: hacia una gestión urbana descentralizada e inteligente*

Lorena Alonso Suárez

(Ph.D. Student at the University of Santiago de Compostela)

ABSTRACT Beyond the aspects underlying the use and standardization of cryptocurrencies, blockchain technology is perceived as a true revolution through its application in a multitude of strategic sectors. The operation of this disruptive technology, defined by its decentralized, distributed, transparent and secure nature, leads us to consider the viability of its application in urban areas, in line with the principles that govern the development of smart cities. This article will try to provide an overview of the operation of blockchain technology and its application to strategic sectors linked to the operation of cities, to assess and analyze the implications, benefits and critical points related to its incorporation as a tool for decentralized urban management and smart.

1. Introducción

Las tecnologías de registro distribuido (DLT), entre las que se encuentra *blockchain*, es una innovación tecnológica relativamente reciente que tiene amplias implicaciones para muchos sectores. *Blockchain* se plantea como un elemento revolucionario, al igual que ocurrió en su momento con la aparición de internet. Su origen y emergencia se localizó en el sector económico-financiero, sin embargo, en los últimos años su aplicación se ha extendido a otros ámbitos, con el objetivo principal de garantizar la inmutabilidad, trazabilidad, seguridad de los datos, así como la reducción de costes y la eficiencia de los procesos.

La descentralización y el consenso se establecen como principios fundamentales del funcionamiento de la cadena de bloques. Por este motivo, resulta conveniente analizar y plantear la incorporación de esta tecnología en los proyectos y desarrollos de ciudades inteligentes o smart cities.

La tecnología es un recurso que nos permite mejorar nuestra calidad de vida y descubrir nuevas soluciones a problemas y deficiencias que observamos en nuestro entorno. En el contexto urbano, la tecnología *blockchain* tiene el potencial de mejorar la coordinación entre los distintos agentes y autoridades que actúan en los espacios urbanos, para así alcanzar una mejor cohesión social y territorial y funcionamiento sostenible

y responsable en las ciudades. Asimismo, esta herramienta digital, como alternativa a los procesos y procedimientos mainstream con los que funcionamos en nuestro día a día, ofrece un planteamiento disruptivo que merece un análisis económico, social y político ante su posible repercusión e impacto en las ciudades actuales.

Por consiguiente, en este artículo se abordará el marco conceptual y el surgimiento de la cadena de bloques como una tecnología disruptiva; para profundizar, posteriormente, en el funcionamiento y aplicación de la cadena de bloques en otros ámbitos en los que puede aportar beneficios y procesos alternativos que redunden en soluciones innovadoras y efectivas.

Después de obtener una visión general de las características y funcionamiento de esta tecnología, se proponen tres áreas fundamentales de aplicación y se describen los casos de uso posibles, según las propiedades de este nuevo sistema disruptivo: el registro de información y datos públicos y privados, el desarrollo de contratos inteligentes y agentes autónomos y la creación de identidades digitales. Estas tres aplicaciones potenciales que se describen impulsan numerosas iniciativas y proyectos concretos en el ámbito urbano que, al mismo tiempo, refuerzan la transformación hacia ciudades más descentralizadas, sostenibles e inteligentes. Con este propósito se analizan las iniciativas desarrolladas en menor y mayor grado en tres ámbitos estratégicos del ámbito urbano: el sector energético, la gobernanza urbana y la

* Article submitted to double-blind peer review

sostenibilidad medioambiental.

Para finalizar, en este trabajo se recogen una serie de consideraciones y conclusiones, tras lo analizado, y se plantean no solo las bondades y ventajas o beneficios de la aplicación de *blockchain* a las ciudades, sino los aspectos críticos o controvertidos que implica su desarrollo y evolución.

2. Marco conceptual y surgimiento de *blockchain* como tecnología disruptiva

En la última década, el conocimiento y uso del término *blockchain* o cadena de bloques ha aumentado y ha sido objeto de estudio y desarrollo, especialmente en aquellos sectores relacionados con la aplicación de tecnologías e innovaciones disruptivas.

Antes de entrar en profundidad en el análisis del término, es importante señalar que las tecnologías o innovaciones disruptivas son aquellas que producen una ruptura y dejan obsoleta la tecnología anterior; además, tienen la capacidad de cambiar la forma en la que trabajamos, vivimos y nos comportamos, como sucedió en su momento con la aparición de internet o de las redes sociales.

Cuando se revisan los antecedentes tecnológicos, nos remontamos al año 1992, momento en el surgió el protocolo de internet HTTP, que originó lo que se conoce como Web 1.0, con el objetivo de crear un ecosistema de información digital descentralizado. En esta primera fase del desarrollo de internet las páginas web eran estáticas y los usuarios solamente podían leer la información que allí se recogía, sin la posibilidad de poder interactuar ni utilizar aplicaciones.

Posteriormente, en 1998, se crea Google, que supuso la revolución de la Web 1.0 y el paso a la Web 2.0, formada por multitud de aplicaciones y una alta y creciente sofisticación en la interacción con el usuario. En los comienzos de esta segunda fase, la gran facilidad de ofrecer servicios y hacer negocios a través de internet provocó la creación de multitud de empresas entre el año 2000 y 2004. Estas nuevas empresas no poseían un modelo de negocio adaptado a internet, lo que originó la burbuja y posterior crisis de las *puntocom*, que se materializó con el cierre de más del 50% de las empresas concebidas. Una vez superado el estallido de esa burbuja, se inicia un período de recuperación con la adopción masiva de internet y en el año 2008, internet ya es una tecnología madura, con

aplicaciones web con un alto nivel de seguridad y con una gran diversificación y competencia en el mercado.

Sin embargo, la Web 2.0, que es con la que funcionamos en la actualidad, está dominada y centralizada en unas pocas organizaciones, entre las que se encuentran Google, Facebook o Youtube como principales propietarios de una incommensurable cantidad de información. En este sentido, con el desarrollo de internet no se logró la descentralización que se pretendía al inicio. La actual era digital se basa en el envío de copias de información a través de la red, es decir, se lleva a cabo un proceso de democratización de la información¹. De este modo, cuando se pretenden digitalizar procesos relacionados con activos como pueden ser el dinero, el arte, la energía, el turismo o los residuos, observamos que, tanto los procesos como las operaciones realizadas con estos y otros activos, los basamos en grandes intermediarios: bancos centrales, gobiernos, grandes compañías de servicios o de medios sociales, etc.

Con la incorporación de estos intermediarios, lo que establecemos es confianza en nuestra economía y en la multitud de operaciones complejas que se ejecutan. Ellos son los encargados de realizar la lógica de negocio, asegurar todas las transacciones comerciales y llevar a cabo la autenticación, identificación, liquidación y mantenimiento de los registros. Esta forma de operar a través de intermediarios y, por ende, de la centralización de los procesos genera problemas como la posibilidad de fraude e inseguridad de los datos que se procesan, la exclusión de una parte de la sociedad que, por ejemplo, no posean una cuenta bancaria; o la dilatación excesiva de los tiempos en ciertas operaciones, así como los altos costes de transacción soportados.

Ante el contexto descrito y los problemas generados por la estructura centralizada de la economía global surge la tecnología de cadena de bloques o *blockchain*, considerada una tecnología disruptiva, subyacente al funcionamiento de las criptomonedas. Su aparición y la causa principal de su eclosión a finales del año 2008 se identifica con el colapso producido en la industria financiera a nivel global. Aquel contexto de creciente

¹ D. Tapscott y A. Tapscott, *La revolución Blockchain*, III ed., Barcelona, Deusto, 2017, 36.

desconfianza en el sistema financiero y monetario centralizado, imperante en los países desarrollados, motiva la publicación de un artículo² de autoría anónima, bajo el pseudónimo de Satoshi Nakamoto, en el que se describe el protocolo denominado *peer to peer*³ (P2P) aplicado al dinero digital y a la utilización de la criptomoneda con mayor relevancia en la actualidad: el Bitcoin. Así, el análisis realizado por Satoshi Nakamoto fue el punto de partida del desarrollo de la cadena de bloques de Bitcoin, que registró su primera transacción en 9 de enero de 2009.

La lección extraída de la aparición y desarrollo de Bitcoin, y posteriormente de otras criptomonedas, durante la última década radica en su esencia. Las criptomonedas no se configuran como monedas fiduciarias controladas por el Estado-Nación, sino que su control y gestión depende por completo de su carácter descentralizado, basado en el protocolo mencionado, bajo un sistema inmutable que reduce los costes, garantiza *per se* la trazabilidad de toda la información registrada y minimiza, e incluso elimina, los intermediarios.

De todos modos, es importante señalar que la convergencia de una serie de tecnologías relacionadas con la criptografía, las matemáticas, los teléfonos móviles, las tarjetas gráficas o internet ha sido lo que ha dado lugar al desarrollo de la tecnología de cadena de bloques. Para comprender el potencial de esta tecnología es importante señalar que, fundamentalmente, *blockchain* es un libro de contabilidad o un libro mayor digital, distribuido y auditable. Al igual que sucedió en su momento con la creación de la Web 1.0, el ecosistema *blockchain* de Bitcoin fue definido como un sistema descentralizado, sin embargo, presenta dos innovaciones al respecto: la distribución y la disrupción.

En su principal característica, la descentralización, se encuentra lo realmente trascendente: la posibilidad de aplicar la tecnología *blockchain* en otros ámbitos, donde la intervención de intermediarios es fundamental para la asignación y provisión

eficiente y equitativa de bienes y servicios. Este será el punto clave del desarrollo de este análisis, donde se plantea la viabilidad y funcionalidad de la cadena de bloques en algunos ámbitos de gran relevancia para la gestión de las ciudades inteligentes.

En este sentido, la cadena de bloques actúa como un sistema distribuido en el que todos los nodos de la red tienen una copia exacta de la información que se comparte y se registra como un libro mayor distribuido. Además, a pesar de que la información está replicada en todos los nodos, esta no se puede copiar; de hecho, la naturaleza distribuida de la cadena de bloques, concretamente la de Bitcoin, garantiza la inmutabilidad de la información, protege la autoría y salvaguarda su integridad mediante mecanismos de encriptación; a su vez, la inmutabilidad de la información queda garantizada con un sistema de incentivos y de recompensas económicas a todos los nodos que mantienen la red. Estas características convierten a *blockchain* en una tecnología disruptiva que tiene la capacidad de eliminar muchos de los intermediarios que aportan la confianza necesaria entre las partes y, por consiguiente, de reemplazar la necesidad de un observador externo o ejecutor de reglas.

La cadena de bloques se configura, pues, como un libro público comprobable, con entrada abierta y con una absoluta descentralización del poder a través de una red ampliamente distribuida e interoperable con el resto de los nodos que funcionan a través de la cadena de bloques. Así, esta tecnología cuenta con el potencial de crear confianza sin la necesidad de un observador que implique autoridad e imparcialidad⁴.

Como señala, Don Tapscott, uno de sus mayores precursores, esta nueva tecnología transformará el internet de la información en el internet del valor. En este sentido, su valor añadido reside en la posibilidad de compartir únicamente la información que un participante de la red necesita conocer, manteniéndose el resto encriptada e inaccesible, lo que impide posibles manipulaciones o cambios en la información registrada, así como la violación de la privacidad. Esta garantía de seguridad de los datos convierte a los individuos en los auténticos portadores y responsables de su identidad digital, que en el momento actual

² S. Nakamoto, *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, disponible en <https://bitcoin.org>.

³ Un sistema o red *peer to peer* es un tipo de red donde un grupo de ordenadores o nodos participan de manera descentralizada, es decir, no existe un punto central de conexión y las partes o nodos actúan de forma autónoma respondiendo a un protocolo común. De esta manera los integrantes de la red podrán intercambiar información directamente y sin intermediarios.

⁴ N. Malavika y D. Sutter, *The blockchain and increasing cooperative efficacy*, in *The independent Review*, vol. 12, n. 4, 2018, 529-550.

reside en manos de intermediarios y es gestionada bajo modelos centralizados.

A pesar de que esta tecnología comenzó su desarrollo con Bitcoin, lo que implica que la mayor parte de su operatividad se concentre en el sector financiero y monetario, su funcionalidad se ha ido desplegando hacia otras dimensiones como los contratos inteligentes o *smart contracts*, las aplicaciones en identidades digitales, los registros de datos, la ciberseguridad o la energía, entre otros.

Después de más de una década desde el despegue de este nuevo ecosistema tecnológico, su desarrollo y posterior consolidación se ven obstaculizados por la mala publicidad y las trabas regulatorias⁵. La regulación suele ser el principal freno al desarrollo de sistemas descentralizados. Cuando tratamos con activos patrimoniales, nuestros sistemas regulatorios están diseñados para mantenerlos cerrados y centralizados, motivo por el cual la adopción de sistemas como el de cadena de bloques se ve ralentizado. Sin ignorar los obstáculos y aspectos controvertidos que se desprenden del uso de *blockchain*, y que se tratarán con posterioridad, es fundamental profundizar en sus características intrínsecas y en su funcionamiento, para analizar en qué medida su funcionalidad trasciende del ámbito financiero y económico, en el que se concentra la mayor parte de su aplicación.

3. *Funcionamiento y aplicación más allá de la economía*

3.1. *¿Cuál es el funcionamiento básico de la cadena de bloques?*

Es innegable que la complejidad del sistema de cadena de bloques es alta, lo que implica un gran esfuerzo de síntesis al explicar su funcionamiento y así lograr identificar mejor su utilidad. Para explicar y visualizar correctamente el funcionamiento primario de la cadena de bloques, nos situaremos en la *blockchain* de Bitcoin y partiremos de una operación básica como es la transacción de una cantidad determinada de bitcoins entre dos usuarios de esta red: el usuario A le transfiere X bitcoins al usuario B. Para procesar esta transacción en la cadena de

bloques es necesario que el usuario A firme electrónicamente dicha transacción con su clave privada.

En este punto, es importante señalar que cualquier usuario que realice operaciones a través de una red de *blockchain* poseerá dos claves: una clave privada, con la que los usuarios firman las operaciones que realizan a través de la red; y una clave pública, que funciona como un identificador, similar al número de una cuenta bancaria, y que se utiliza para que un usuario de esa red puede recibir transacciones. En el caso de la clave privada no existe la posibilidad de recuperarla en el caso de no recordarla o extraviarla, lo que significa que dependerá exclusivamente del usuario propietario de esa cuenta.

Una vez que la transacción realizada es firmada por el usuario A, esta se notifica al resto de nodos que forman parte de la red *blockchain* para que, posteriormente, la transacción sea validada y añadida a un bloque, al cual se le añadirán más transacciones hasta que este se complete. Una vez completado el bloque, se vinculará al resto que forman la cadena. Esta vinculación de los bloques permite que, en el supuesto de que existiera la voluntad de modificar algunas de las transacciones localizadas en alguno de los bloques de la cadena, sería preciso modificar todas y cada una de las transacciones registradas en los bloques anteriores. Esta propiedad es la que garantiza la inmutabilidad del sistema.

La primera cuestión que se podría plantear al analizar el funcionamiento básico de esta tecnología sería: ¿quiénes añaden los bloques en la cadena y cómo se realiza el proceso? En esencia, los responsables de la validación y creación de los bloques en una *blockchain* son los denominados mineros, es decir, aquellos usuarios que forman parte de la red y actúan como validadores de transacciones y creadores de bloques a cambio de una comisión. La validación por parte de los mineros se realiza a través del establecimiento de un mecanismo de consenso que tenga la capacidad de verificar la validez de la información y así prevenir el registro de gastos dobles o datos inválidos.

Conforme las plataformas *blockchain* han ido madurando, han surgido diversos mecanismos de consenso. A grandes rasgos, la principal diferencia entre ellos es la forma en la que delegan y recompensan la verificación de las transacciones. Sin profundizar en este

⁵ Se recomienda revisar el informe publicado en enero de 2020 por el Foro Económico Mundial sobre los desafíos a los que se enfrenta *blockchain*: <https://www.weforum.org/agenda/2020/01/blockchain-in-2020-epic-changes-and-monumental-challenges/>.

asunto, conviene señalar que los dos mecanismos de consenso más populares actualmente son el de Prueba de Trabajo (*Proof of Work*, PoW) y el de Prueba de Participación (*Proof of Stake*, PoS). En esencia, el sistema PoW, establecido en la red de Bitcoin, es un mecanismo de consenso por el cual los mineros deben resolver un problema matemático -denominado *hash*- y aquel minero que sea el primero en resolverlo obtendrá una recompensa en forma de bitcoins⁶ y una comisión por transacción validada. En este sistema, la única forma en la que el minero aumenta su probabilidad de resolver el problema matemático es adquiriendo mayor poder computacional. Por otra parte, en el sistema PoS el creador de un nuevo bloque se escoge basándose en su participación, que se mide en base a cuántos tokens posee. La principal ventaja de este mecanismo de consenso es el menor consumo de energía, al eliminar el proceso de minado a través de la resolución del problema matemático; a la vez que se fomenta que quienes hagan el minado sean aquellos que están realmente interesados en la red⁷.

En este sentido, observamos como la confianza en las transacciones realizadas no se establece a través de una gran institución, sino que se fundamenta en la colaboración mediante un lenguaje criptográfico y un código inteligente que le aporta una seguridad intrínseca a este protocolo, independientemente del mecanismo de consenso que se determine.

3.2. Funcionalidad e implicaciones de la cadena de bloques

Una vez que hemos concretado una explicación general del funcionamiento del ecosistema *blockchain*, en base al ámbito de las criptomonedas, continuamos analizando la funcionalidad y posibles implicaciones de esta nueva tecnología en otros sectores y así identificar que aportaciones puede generar su aplicación en la gestión de las ciudades inteligentes.

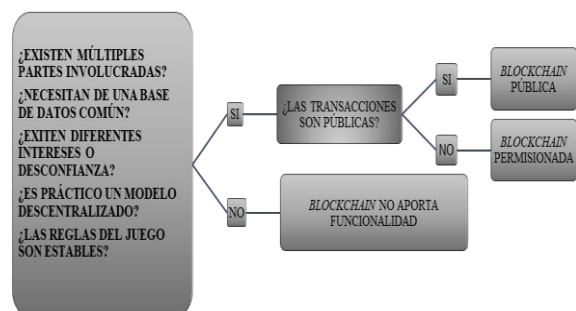
⁶ La recompensa que reciben los mineros de la red de Bitcoin por cada bloque generado es la transacción encargada de emitir nueva criptomoneda Bitcoin. En el caso particular de Bitcoin, su protocolo determina el límite de emisión en los 21 millones de bitcoins.

⁷ Es importante apuntar que en una red PoS no se crean nuevas monedas digitales, sino que todas las monedas son emitidas en un inicio, de modo que a quienes realizan la validación de los bloques se les recompensa mediante comisiones por transacción.

A pesar de que la cadena de bloques más conocida es Bitcoin, actualmente existen multitud de cadenas de bloques aplicadas a otros ámbitos, además del monetario-financiero, como puede ser la de Ethereum. Una de las aplicaciones principales de esta última es la capacidad de permitir la creación de contratos inteligentes, autoejecutables, que se encargan de la ejecución, gestión, desempeño y pago de acuerdos entre las personas. Actualmente, Ethereum está desarrollando proyectos que van desde crear un nuevo reemplazo para el mercado de valores hasta desarrollar un nuevo modelo de democracia en la que los gobiernos asumen una verdadera responsabilidad.

Sin embargo, no es correcto afirmar que la aplicación de la cadena de bloques va a resultar beneficiosa en todos los casos. Es fundamental identificar cuáles son los casos de uso en los que esta nueva tecnología puede ser útil y aportar beneficios. Para ello, sería conveniente plantear las preguntas que se recogen en el siguiente diagrama, para determinar la idoneidad de la aplicación de *blockchain*:

Fuente: Elaboración propia



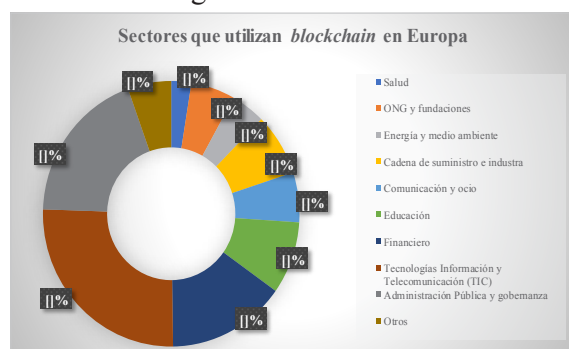
En este sentido, a la hora de plantearnos la idoneidad de su aplicación, se debe determinar si existe la necesidad de compartir una base de datos común, si existe o no confianza entre las partes involucradas y si las reglas o normas que imperan en el sistema son estables o cambian con frecuencia. En base a la determinación de estos aspectos y al tipo de operaciones que se realizarán, se tomará la decisión de aplicar una cadena de bloques permitida⁸, en la que un consorcio de

⁸ Las cadenas de bloques permitidas suelen tener un carácter más cerrado y la información que se registra se mantiene privada entre los nodos que la mantienen. Se considera que son menos revolucionarias que las públicas, e incluso, se argumenta que este tipo de sistema no es más que un tipo de base de datos compartida. Sin entrar en ese debate, es importante destacar que las cadenas de bloques permitidas tienen cierta utilidad en

determinadas organizaciones son las responsables de autenticar y controlar a los participantes de la red; o bien, una cadena de bloques pública, donde no exista una figura central que autorice o administre el intercambio de datos.

El impulso de la tecnología de cadena de bloques en los sectores estratégicos involucra irremediamente a los agentes públicos, que deben descubrir y determinar el rendimiento de este ecosistema en la gestión de sus entornos; así como a todos aquellos profesionales vinculados, como son los arquitectos, ingenieros, juristas, economistas o empresarios. Su influencia en multitud de disciplinas, unida a su naturaleza descentralizada en el mantenimiento de registros, en combinación con el cifrado de datos, proporciona la confianza, trazabilidad y seguridad necesaria para que los usuarios intercambien sus datos y/o sus activos. En consecuencia, se puede afirmar que existe un alto potencial para que *blockchain* se utilice en diversos ámbitos.

En el siguiente gráfico se muestran los porcentajes de su usabilidad en distintos sectores estratégicos⁹.



Fuente: Mercado Único Digital de la Unión Europea, año 2019.

Se observa, pues, como el sector de las telecomunicaciones y tecnologías de la información está liderando la implantación y aplicación de la tecnología *blockchain*, superando al sector financiero, que apenas representa un 15% frente al 25,75% de usuarios en el sector TIC. El resto de los

sectores, a excepción de la Administración Pública que avanza en su adaptación, no alcanzan el 10% de los usuarios. De todos modos, el carácter disruptivo de esta nueva tecnología implica que su adopción sea un proceso complejo, lento e intermitente para aquellas organizaciones que decidan incluirla en sus procedimientos y procesos.

En definitiva, la funcionalidad que aporta la cadena de bloques en determinados procesos económicos nos lleva a plantear la hipótesis de si esta nueva tecnología contribuye realmente a redistribuir¹⁰ la riqueza, crear prosperidad y disminuir la desigualdad; para que se origine un proceso de democratización de la riqueza a través de la colaboración de un mayor número de personas en la economía, con garantías de que recibirán una compensación justa.

3.3. Ámbitos de aplicación y posibles casos de uso

La realidad evidencia que *blockchain* aporta nuevas y, probablemente, mejores soluciones a cuestiones que influyen en el desarrollo y prosperidad de los individuos y de sus entornos. En base a las propiedades y el funcionamiento de este ecosistema, proponemos tres áreas principales de aplicación, que se describen a continuación.

En primer lugar, hacemos referencia a la aplicación derivada de las características inherentes al propio sistema -consenso descentralización, robustez, seguridad, inmutabilidad y transparencia- para los registros públicos, como pueden ser el registro de propiedad, registro de vehículos, licencias de negocios, certificados administrativos, procesos electorales, etc.; así como para registros privados como los sanitarios, educativos, gestión de becas, patentes, arbitraje, apuestas o donaciones, entre otros.

En este caso de uso concreto, esta tecnología permite que los distintos agentes involucrados, como pueden ser bancos, agencias aseguradoras, notarías, juzgados, compradores o vendedores puedan realizar un seguimiento confiable de toda la información

contextos donde consorcios de varias entidades diferentes necesitan un sistema común donde almacenar información compartida. Los intereses contrapuestos de los miembros de las organizaciones, ante una información de alto valor para toda la organización, justifican la utilidad de la cadena de bloques permissionada.

⁹ El gráfico se ha extraído de un informe publicado por el Mercado Único Digital de la Unión Europea en el año 2019.

¹⁰ Don Tapscott utiliza el término redistribución para diferenciarlo de la redistribución, que implica la centralización de los procesos y del poder de actuación. En esencia, la redistribución no consiste en corregir las diferencias de renta o riqueza producidas por el mercado, sino en modificar el funcionamiento del mercado involucrado a todas las partes interesadas, con el fin de generar menores desigualdades.

registrada. Asimismo, su aplicación permite la agilización de procesos y tiempos de ejecución relacionados con la información que contengan esos registros y la reducción significativa de los gastos administrativos.

Otro ámbito sería la incorporación de la cadena de bloques al desarrollo de los contratos inteligentes y agentes autónomos, junto a técnicas o herramientas como Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT), Big Data o la aplicación de la Inteligencia Artificial para la gestión de infraestructuras o de activos físicos de ámbito territorial o medioambiental; así como para ciertos procesos administrativos que pueden automatizarse gracias a la inclusión de los contratos inteligentes. Se abre, pues, un gran abanico de posibles casos de uso donde *blockchain* puede aportar beneficios significativos, mediante una pista de auditoría inmutable que reduce los tiempos, los costes y, en especial, los riesgos asociados a aplicar normas administrativas; además, posibilita el acceso a datos más completos y confiables, lo que redundará en una mejora de la toma de decisiones y en la detección de errores o deficiencias; que evita, a su vez, la actividad fraudulenta y actúa como medio disuasorio de este tipo de actuaciones.

Por último, es importante señalar el desarrollo y aplicación de la cadena de bloques para la creación de nuevos modelos de identidad digital, que poseen el potencial de modificar el *statu quo* establecido, mediante la deslocalización y la ubicuidad del ecosistema *blockchain*. Actualmente, observamos que los datos personales se han configurado en una nueva clase de activo, que genera un “yo virtual”, gestionado por organizaciones centralizadas que son las que, en la práctica, poseen el control absoluto de los datos que forman parte de nuestra identidad y privacidad. Ante este contexto de apropiación de la privacidad de los individuos por parte de compañías u organizaciones que extraen rédito de su gestión centralizada, la cadena de bloques pretende reforzar la privacidad de los datos personales para recuperar el control de nuestra propia identidad digital, de manera que podamos administrarla con responsabilidad real.

En los últimos años se están desarrollando importantes iniciativas en torno a las áreas de aplicación mencionadas. Por ejemplo, en lo que respecta a los registros de datos y al manejo de información pública y/o privada, el

gobierno de Estonia ha logrado posicionarse como pionero en la aplicación de la tecnología *blockchain* en sus registros fiscales y empresariales, así como en la protección de los registros sanitarios de sus ciudadanos.

En el contexto español, es interesante la iniciativa desarrollada por el gobierno autonómico de Aragón en lo relativo a la utilización de *blockchain* para los procesos de contratación pública, concretamente para el registro y evaluación de las licitaciones. En este sistema de registro distribuido mediante cadena de bloques desarrollado por la empresa Oesía, los licitadores presentan la huella electrónica o *hash* de su oferta, que quedaría almacenada de manera permanente, simultánea y sucesiva en la cadena. Finalizado el plazo de presentación de ofertas, los licitadores enviarán su oferta en formato electrónico al órgano de contratación, quien procederá a calcular su huella electrónica y a comprobar su identidad con la registrada en la cadena de bloques, para su posterior valoración. Los contratos inteligentes desarrollados en el sistema valorarán automáticamente las ofertas que contengan el *hash*.

La solución propuesta por el Gobierno de Aragón ha sido diseñada para validar la presentación de ofertas sencillas y automatizar la elección adecuada al pliego del concurso. Para su ejecución en licitaciones más complejas, donde se establecen criterios subjetivos, será necesaria la aplicación añadida de otras tecnologías, como la inteligencia artificial. Así las cosas, desde su puesta en marcha en 2019 hasta final de 2020, este sistema se ha utilizado en 24 concursos públicos y su aplicación ha sido valorada positivamente como una práctica ejemplar contra la corrupción en las adjudicaciones de contratos en la Administración Pública.

Al revisar experiencias en torno a las identidades digitales, señalamos la iniciativa ID2020, liderada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y en colaboración con el sector privado, para aplicar *blockchain* como medio que provee un sistema de identidad robusto, con el fin de probar la identidad de los individuos y proporcionar ayuda inmediata a determinados colectivos de la sociedad, como aquellos que se encuentran en riesgo de exclusión social.

En este sentido, es importante señalar que, recientemente, la Agencia Española de Normalización (UNE) ha publicado la Norma

UNE 71307-1. Se trata del primer estándar que se da a conocer en el mundo sobre gestión de identidades digitales descentralizadas, basadas en *blockchain* o en cualquier otra Tecnología de Registro Distribuido (DLT). Esta normativa contempla varios aspectos, entre ellos, define los principales actores relacionados, así como el conjunto de características que forman parte de la estructura y requisitos de los denominados Identificadores Descentralizados (DID).

Lo que se persigue es establecer un marco de referencia genérico para que los individuos y las organizaciones hagan uso y autogestionen su propia identidad digital sin recurrir a autoridades centralizadas. La publicación de este estándar constituye un hito por ser la primera norma europea basada en el ámbito de la normalización de la gestión de identidades descentralizadas¹¹.

Este estándar de identificación digital será fundamental para aplicar la European Blockchain Services Infrastructure (EBSI), un proyecto impulsado por la Comisión Europea para derribar las fronteras entre los ciudadanos y las Administraciones Públicas y ampliar la accesibilidad de la ciudadanía a los documentos públicos y trámites administrativos de su país desde cualquier punto de la Unión Europea.

De todas maneras, en el contexto español, estos avances, iniciativas y proyectos de identidad digital a través de *blockchain*, como la EBSI, deberán ir acompañados de cierta legitimidad legislativa. Así, se hace imprescindible la modificación del Real Decreto-Ley 14/2019, de 31 de octubre, por el que se adoptan medidas urgentes por razones de seguridad pública en materia de administración digital, contratación en el sector público y telecomunicaciones¹², en la que se impide la admisión y autorización de los sistemas de identificación basados en tecnologías de registro distribuido -así como los sistemas de firma basados en estos- en las relaciones entre ciudadanos y Administraciones Públicas, en tanto no sean objeto de una regulación específica del Estado en el marco del Derecho de la Unión Europea.

¹¹ La Asociación Española de Normalización ha propuesto que esa norma se convierta en un estándar europeo de normalización ante el Comité Europeo de Normalización (CEN) y el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC).

¹² Concretamente, se contempla en su disposición adicional sexta.

Los casos e implicaciones mencionadas demuestran que la aplicabilidad de la cadena de bloques todavía se encuentra en fase experimental, por lo que es importante no solo estudiar sus beneficios y obstáculos, sino analizar los resultados de las iniciativas y proyectos ya implantados.

A nivel regulador y concretando su aplicación en España, se espera que los avances de esta nueva tecnología se encuadren dentro de la Agenda Digital para España y el Mercado Único Digital; no obstante, se requiere de un marco normativo y regulatorio flexible que permita que los agentes y las instituciones públicas adquieran un papel de observación, monitorización, apoyo e impulso de estas iniciativas a pequeña escala. En definitiva, lo importante es que la red no posea exclusivamente elementos operativos sostenibles, sino que también cuente con elementos dinámicos de crecimiento sostenible; es decir, diseñar un modelo en el que cada participante pueda desplegar un código de cadena que rija su propio proceso de negocio al aceptar o tratar activos digitales, a medida que evoluciona el proceso empresarial, las políticas públicas y la regulación.

4. La cadena de bloques como herramienta de gestión ante las ciudades inteligentes

El desarrollo de las ciudades inteligentes supone un cambio de paradigma en la provisión y funcionamiento de los servicios públicos urbanos¹³ y se establece como un escenario ideal para el desarrollo efectivo de la cadena de bloques, con el potencial de aumentar el empoderamiento de los agentes urbanos en el diseño de sus ciudades para materializar los principios fundamentales de eficiencia y sostenibilidad.

Con la aplicación de la cadena de bloques a la ingeniería civil, y concretamente a las ciudades inteligentes, se busca que los servicios públicos se configuren en un ecosistema abierto, seguro y transparente, que ayude a las organizaciones a aprovechar nuevos modelos de negocio, capacidades innovadoras y la riqueza de los datos disponibles; con el objetivo de crear unas infraestructuras públicas eficientes, ayudar a

¹³ S. Quesada y A.L. Pulido, *Smart City: hacia un nuevo paradigma en el modelo de ciudad*, presentado en el 3º Salón de la Eficiencia Energética en Edificación y Espacios Urbanos, Málaga, 2012.

garantizar la seguridad y las necesidades de las personas, facilitar el crecimiento sostenible y potenciar comunidades más fuertes e interconectadas.

Como se ha destacado con anterioridad, la cadena de bloques está revolucionando el sector de la tecnología y de la información de los datos en muchos aspectos. En este sentido, el concepto de ciudad inteligente pretende integrar en su modelo de gestión toda la tecnología disponible, que haga posible la conexión entre todos los sistemas de las grandes ciudades, con el fin de reducir la contaminación, la generación de residuos, el elevado consumo de los bienes naturales, el consumo energético, la ineficiencia en el transporte y, en definitiva, la mejora de la gestión pública.

Actualmente, un 55% de la población mundial vive en ciudades¹⁴ y las tendencias apuntan a que en el año 2025 alrededor del 70% de la población vivirá en espacios urbanos. La forma de vida urbana será, por un lado, el principal motor económico y, por otro, el mayor foco de insostenibilidad del planeta, como consecuencia de las emisiones contaminantes o de las zonas marginales, entre otras deficiencias y problemas.

De todos modos, las ciudades han sido y son el laboratorio mundial de la innovación a lo largo de la historia y será de ellas de donde partan las diferentes soluciones que mejoren la calidad de vida urbana. La nueva era de las ciudades pasa por dar vida al mundo físico ante una ciudadanía que reclama una mayor participación, democracia y transparencia, tres conceptos clave para la tecnología *blockchain*.

En las últimas décadas, todo ha cambiado a gran velocidad y la gestión urbana de gobiernos verticales, con una organización tradicional basada en ayuntamientos o municipios, se ve obligada a ofrecer una gran variedad de servicios, lo que implica un cambio en la gestión de la res pública: la verticalidad imperante en la organización pública debe tomar una visión horizontal.

Con el fin de promover el concepto de ciudad inteligente, España constituyó en 2012 a Red Española de Ciudades Inteligentes (RECI), destinada a apoyar la gestión automática y eficiente de las infraestructuras y los servicios urbanos y, como consecuencia, a

reducir el gasto público y la mejora de la calidad de los servicios. En la actualidad, la RECI la conforman 83 ciudades españolas y, además, ya se han desarrollado más de 20 normas para la correcta gestión de las ciudades inteligentes, lo que convierte a España en un país puntero en este tipo de normativas.

Uno de los factores clave que genera las preocupaciones relativas a la vida en las ciudades es el aumento de la población y las soluciones propuestas pasan por la transformación tecnológica de las ciudades, a través de la integración de tecnologías como la inteligencia artificial (IA), el big data, el internet de las cosas (IoT) o la cadena de bloques.

En el caso concreto de IoT, esta tecnología se baja en la interconexión de un producto o dispositivo con otro cualquiera de su alrededor, con el objetivo de que todos los dispositivos se puedan comunicar entre sí para, así, ser más inteligentes e independientes. Sin duda, la aplicación de IoT ha sido uno de los cimientos del desarrollo de las ciudades inteligentes y su aplicación concreta se identifica en ámbitos como la gestión del tráfico de las ciudades, el suministro eléctrico, la gestión de aguas y de residuos o la gestión de la propiedad urbana, entre otros.

Sin embargo, a pesar de su utilidad y de la evolución y maduración de IoT, esta tecnología depende directamente de la existencia de registros. Además, el principal inconveniente de los actuales sistemas tecnológicos de gestión urbana es que trabajan bajo sistemas centralizados, administrados por empresas como Google, lo que conlleva riesgos de manipulación, sesgos o filtraciones de información.

En este sentido, las ciudades inteligentes deben generar plataformas interoperables que proporcionen servicios y ecosistemas de innovación y la tecnología *blockchain* tiene la capacidad de aportar todo lo necesario para que una ciudad pueda desarrollarse y funcionar de un modo más seguro e inclusivo. De todas maneras, es importante reiterar que la tecnología de cadena de bloques siempre deberá ir acompañada de otras tecnologías habilitadoras.

En un proceso similar al que se produce en el ecosistema Bitcoin, los datos obtenidos de las ciudades inteligentes se almacenan en nodos descentralizados, donde la información

¹⁴ Concretamente, en Europa este porcentaje alcanza el 75% y en Estados Unidos el 82%, según datos publicados por el Fondo de Población de Naciones Unidas (UNFPA).

se encuentra encriptada y se une al resto mediante un código de unión *hash*, que se genera automáticamente en función del contenido del nodo. Esto implica que, si en algún momento el nodo varía su contenido, el *hash* cambiará automáticamente.

En efecto, las condiciones de uso de la cadena de bloques están estrechamente alineadas con las exigencias de las ciudades inteligentes: múltiples agentes que comparten información, una actualización constante de los datos, la necesidad de verificar la validez de la información que se comparte, la existencia de intermediarios que añaden sobrecostes y complejidad en la gestión, conexiones rápidas y participantes que interactúan mutuamente.

4.1. *Ámbitos estratégicos de aplicación*

La aplicación de redes descentralizadas aporta beneficios que actualmente no encontramos en otras tecnologías, como son la transparencia, la inmutabilidad y la propia descentralización. Asimismo, el concepto de ciudad tal cual lo conocemos cambiará a medida que tecnologías como IoT, *social web*, el almacenamiento en la nube, el *machine learning* o la robótica esté presente en cada una de las actividades que se desarrollen en entornos urbanos.

En el ámbito económico y político, la aplicación de blockchain afectará a la tokenización¹⁵ de activos, a los sistemas de comercio electrónico y a la transparencia entre los gobiernos y la ciudadanía. La gestión de la información pública una de las principales aplicaciones de esta tecnología en el entorno urbano. Así, la era de las ciudades inteligentes abre un abanico de posibilidades muy extenso para el desarrollo de este nuevo ecosistema que permita una gobernanza urbana descentralizada, como remedio para los actuales problemas sociodemográficos.

Antes de analizar las áreas estratégicas en las que la tecnología blockchain aporta valor al funcionamiento y devenir de las ciudades, es interesante observar el funcionamiento de compañías tan conocidas como Uber o Airbnb. Estas suelen ser caracterizadas como propulsoras de la economía colaborativa, ya que hacen posible que las personas puedan

ponerse en contacto y unirse para crear y compartir riqueza. Sin embargo, existen voces críticas que cuestionan si estas compañías comparten realmente; ya que, efectivamente, su éxito reside en que se configuran como negocios y no comparten, sino que consolidan los servicios y los venden actuando como meros intermediarios.

La aparición de tecnologías de registro distribuido como la cadena de bloques nos ofrece la alternativa de desarrollar aplicaciones similares a Uber o Airbnb donde la propiedad de la información que se procesa es propiedad de todas las personas que interactúan, facilitando una economía realmente colaborativa. En este sentido, la cadena de bloques ofrece la oportunidad de dar autenticidad a lo que entendemos como colaborativo, respecto a las propuestas con las que contamos en la actualidad. Sus propiedades de descentralización permiten que el valor del ecosistema no sea acumulado en una compañía o marca central, sino que el valor final generado sea distribuido justamente entre todos los participantes que han aportado un valor inicial a la comunidad, a los que se les denomina prosumidores.

Así, la cadena de bloques permite la creación Organizaciones Autónomas y Descentralizadas (DAO, por sus siglas en inglés), que se definen como organismos carentes de jerarquías y de carácter democrático que habilitan a los individuos y a las comunidades a intercambiar valor en un ecosistema dado y a tomar decisiones conjuntas que afecten a la comunidad, gracias a los mecanismos de consenso que se establezcan.

De todas formas, las DAO no deben estar enfocadas a la economía colaborativa, pues su aplicación puede tener diversos propósitos; pero su concepto sí que provee una manera de habilitar una economía colaborativa verdaderamente descentralizada. Aunque este mecanismo de creación de valor, individual y común al mismo tiempo, puede funcionar de diversas maneras, para comprender su funcionamiento, a continuación, se expone un ejemplo sencillo.

Por cada transacción que se realice entre prosumidores y clientes o usuarios finales, a la organización descentralizada le correspondería un porcentaje de esta, con el fin de cubrir los gastos de la plataforma o de las inversiones comunitarias a futuro. Esta “tasa” será retribuida al prosumidor, quien es

¹⁵ La tokenización de activos es un proceso que consiste en convertir activos reales, como inmuebles, acciones o derechos, en activos digitales que se registran en una base de datos distribuida como es la cadena de bloques.

el agente generador de valor, en una criptomoneda propia de la DAO. En función del modelo de negocio decidido por los fundadores de la organización, esta criptomoneda podrá representar el capital de stock sobre la organización, o bien, podrá servir para el intercambio de productos y servicios dentro de la propia DAO, o incluso fuera de ella cuando se disponga de buenos y correctos mecanismos de integración entre los distintos ecosistemas.

La pretensión última de las ciudades inteligentes es un cambio de concepto en la gestión y funcionamiento de los servicios urbanos desde todas sus perspectivas: gestión energética, movilidad, medio ambiente, servicios municipales, administración, información, relaciones con la ciudadanía, etc. Una de las claves de este cambio, si no la principal, es disponer de todo un sistema de carácter transversal, abierto y con capacidad de intercambiar datos en tiempo real entre todos los actores y sistemas de la ciudad.

En este contexto, la tecnología *blockchain* está capacitada para ofrecer un ecosistema digital que interconecte los distintos servicios “verticales” de la ciudad bajo una misma plataforma tecnológica de ciudades inteligentes, formada por redes interconectadas y seguras. En la práctica, existen ejemplos de este tipo de plataformas, como es FIWARE, una plataforma estandarizada que impulsa la Unión Europea para construir aplicaciones inteligentes en ecosistemas abiertos y sostenibles de software en múltiples sectores.

A continuación, se abordarán las posibilidades que ofrece esta tecnología al aplicarla a tres de los ámbitos estratégicos que forman parte de la gestión urbana, en consonancia con los principios rectores de las ciudades inteligentes. Los ámbitos de aplicación que se analizarán en el siguiente apartado no se encuentran en el mismo grado de madurez y, en su mayoría, las iniciativas continúan en fase experimental o temprana.

4.1.1. El sector energético: el surgimiento de las Smart Grids

La energía es uno de los sectores fundamentales para el funcionamiento de las ciudades y para las iniciativas urbanas inteligentes. Asimismo, las micro transacciones de bienes intangibles, como puede ser la energía eléctrica, es un campo preferente para las tecnologías de registro

distribuido como *blockchain*. La red eléctrica tradicional presenta un modelo de gestión vertical, en la que la electricidad es suministrada desde el punto de generación hasta el punto de consumo a través de dos sistemas: el sistema de transmisión, que mueve la energía desde las centrales eléctricas a las subestaciones de distribución; y el sistema de distribución, que mueve la energía desde las subestaciones de distribución hasta los consumidores.

El avance de las tecnologías de almacenamiento de energía, la generación de energías renovables, las tecnologías de la información y la comunicación, los marcos regulatorios favorables y la alta penetración de unidades de generación distribuida, unido al acercamiento de la red a sus límites físicos y la dificultad de monitorización y tratamiento de perturbaciones en los bordes de red al situarse lejos los puntos de generación de los puntos de consumo, facilitaron el surgimiento de lo que se denomina red inteligente o *Smart Grid*.

La *Smart Grid* es una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de los usuarios conectados a la red, tanto de los que generan la electricidad como de los que la consumen, para proporcionar un suministro de electricidad seguro, económico y sostenible¹⁶. Al contrario que ocurre en la red tradicional, la *Smart Grid* es una red eléctrica digital que permite un flujo de energía no convencional y un flujo de información bidireccional para crear una red avanzada de suministro de energía automática y distribuida¹⁷.

Una red inteligente se compone de micro redes o *micro grids*, que se definen como redes de baja tensión, con fuentes de generación distribuida, dispositivos de almacenamiento local y cargas controlables. La finalidad de estas micro redes es abastecer la demanda energética dentro del propio sistema y sus objetivos principales son: la integración de las energías renovables, adaptándose a los recursos de la zona geográfica en la que se encuentren, y de los puntos de generación distribuida de menor tamaño; la disminución de los costes de la energía, al permitir que la oferta y la demanda

¹⁶ Concepto desarrollado en 2006 por la *European Technology Platform for Smart Grids*.

¹⁷ J. Zheng, D. Wenzhong y L. Lin, *Smart meters in smart grid: an overview*, presented at the IEEE Green Technologies Conference, 2013, 57.

se regule en tiempo real; el aumento de la eficiencia de la energía, gracias a la disminución de las pérdidas de transporte y a una mejor reacción ante las perturbaciones de la red; y el respeto de las normas de seguridad en concordancia con un suministro de energía de calidad.

En este sentido, las micro redes inteligentes posibilitan la autogestión, ya que pueden trabajar de un modo aislado, sin contar con el suministro de energía eléctrica general, lo que permite llevar este tipo de sistemas a zonas geográficas donde el sistema de red eléctrica general no llega o funciona de manera ineficiente. Asimismo, este tipo de sistemas permiten integrar diferentes generadores de energía de manera más rápida, gracias a su estructura distribuida. El usuario final se convierte en una figura activa, que puede vender y comprar su energía, al mismo tiempo que tiene un mayor acceso a los datos que produce y una mayor libertad para elegir el tipo de energía que quiere consumir. Como consecuencia, este sistema de redes inteligentes responde a los objetivos de sostenibilidad, marcados por los gobiernos y la ciudadanía, al permitir su integración en el sistema de energía eléctrica general y posibilitar el impulso de energías renovables.

De todos modos, hay que tener en cuenta los retos que implica su desarrollo. En primer lugar, la comunicación es fundamental en este tipo de sistemas, donde se necesita de una infraestructura de comunicación e información eficiente, capaz de responder en tiempo real y ajustarse a la curva de consumo y producción. En segundo lugar, este tipo de sistemas se desarrollan paralelamente en diferentes lugares, lo que requiere de una unificación de estándares compleja de gestionar. En tercer lugar, es importante tener en cuenta los costes de transformación de la infraestructura, así como de todos los dispositivos necesarios para la comunicación y el acoplamiento. En cuarto lugar, es fundamental hacer hincapié en la protección del sistema, ya que su ejecución es complicada y estos sistemas deben ser capaces de responder en modo aislado y en modo conectado igualmente. Por último, hay que destacar que la participación de estos sistemas en la red todavía no posee un marco legal y regulatorio claramente definido, lo que dificulta su integración.

Si bien la combinación de la tecnología *blockchain* y el establecimiento de contratos inteligentes muestran una gran adaptabilidad

en multitud de sectores, su incorporación al sector energético lidera los actuales proyectos innovadores. Se permiten, pues, las transacciones energéticas P2P; es decir, esta tecnología posibilita que los usuarios de una micro red interactúen entre sí mediante la plataforma necesaria para llevar a cabo la compraventa de electricidad dentro de su comunidad de manera automática.

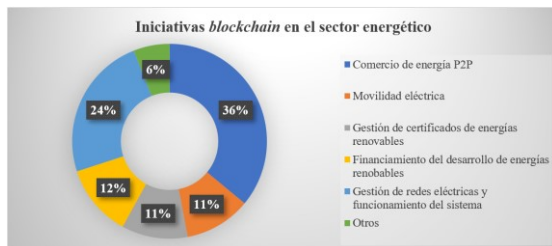
En este sentido, la tecnología *blockchain* permite, entre otras cosas, responder a las siguientes cuestiones: que los usuarios tengan sus propios sistemas de generación en sus viviendas, de modo que se pueda gestionar con precisión y salvaguardando el equilibrio de la red general; reaccionar ante los picos de producción que se producen al utilizar energías renovables, con capacidad de reducir los tiempos de respuesta; gran flexibilidad para gestionar el mercado, gracias al uso de los contratos inteligentes; realizar mejores predicciones para ajustar correctamente la curva de consumo y de producción, debido a la gran capacidad que tiene la cadena de bloques para almacenar datos y su uso en conjunto con otras tecnologías como la inteligencia artificial; la reducción de las barreras de entrada, al permitir integrar pequeñas fuentes de generación de energía en el mercado, como ocurre con los prosumidores; y, además, transformar la posición de los usuarios, convirtiéndose estos en agentes activos en el mercado, permitiendo que puedan elegir la procedencia de su energía, el precio máximo de compra o el precio mínimo de venta.

Numerosas empresas y organizaciones han lanzado sus proyectos piloto, en aras de demostrar el potencial que ofrece la aplicación de la tecnología de cadena de bloques y de los contratos inteligentes. Estos proyectos se están desarrollando por todo el mundo y permiten exhibir las ventajas de esta tecnología y su adaptabilidad en los distintos contextos en los que se introduce.

La International Renewable Energy Agency (IRENA), organización intergubernamental que apoya a los países en su transición hacia un futuro energético sostenible, publica en un informe que existen un total de 189 compañías del sector energético que trabajan con la tecnología de cadena de bloques¹⁸. Estas compañías han

¹⁸ International Renewable Energy Agency (IRENA) *Innovation landscape for a renewable-powered future*:

invertido un total de 466 millones de dólares, de los cuales el 79% provenían de las Inicial Coin Offering (ICO)¹⁹. Empresas como Power Ledger, LO3 Energy o Solarex comenzaron su financiamiento a través de las ICO. A continuación, se muestran las iniciativas que se están desarrollando en el sector eléctrico, diferenciando las distintas áreas de actuación:



Fuente: International Renewable Energy Agency (IRENA), *In-novation landscape for a renewable-powered future: solutions to integrate variable renewables*, Abu Dhabi. Datos de julio de 2018.

Como se puede observar en el gráfico, entre los posibles usos transformadores de esta tecnología en el sector energético, más del 50% pertenece al comercio de energía a través de redes P2P y a la gestión de las redes eléctricas y funcionamiento del sistema. Asimismo, una visión general de los usos principales nos lleva a confirmar el impacto en la transformación del sector energético y la integración de las energías renovables.

Para finalizar este apartado, se presenta la siguiente tabla en la que se recogen algunas de las empresas, consorcios, fundaciones y organizaciones, tanto de titularidad pública como privada, que trabajan para vincular la tecnología blockchain y la energía, en función a las áreas que se han indicado en el gráfico anterior:

ENTIDAD	PAÍS	DESCRIPCIÓN INICIATIVA
Iniciativas para el comercio de electricidad P2P		
Electrify.Asia	Singapore	Desarrollo de una plataforma web y móvil que permite a los consumidores comprar energía a los minoristas de electricidad o directamente a los nodos de la red con contratos inteligentes y blockchain.

solutions to integrate variable renewables, Abu Dhabi, 2019, 46.

¹⁹ Las ICO son un método popular de recaudación de fondos utilizado principalmente por nuevas empresas que desean ofrecer productos y servicios, generalmente relacionados con la tecnología blockchain y las criptomonedas.

Electron	Reino Unido	En sus inicios, ofrecían una solución basada en blockchain para el cambio de proveedor de energía a clientes. Actualmente, se han enfocado en aprovechar su plataforma para respaldar soluciones más amplias de comercio de energía y equilibrio de red.
Greeneum	Israel	Plataforma de comercio de energía P2P operable en Europa, Chipre, Israel, África y Estados Unidos.
LO3 Energy	Estados Unidos	Este desarrollador de blockchain, respaldado por Siemens, opera en Brooklyn Microgrid aumentando la red de energía tradicional, lo que permite a los participantes aprovechar los recursos de la comunidad para generar, almacenar, comprar y vender energía a nivel local. Este modelo hace posible que la energía renovable sea más accesible y que la comunidad resista a posibles cortes de energía, entre muchos otros beneficios económicos y medio ambientales.
Power Ledger	Australia	Esta plataforma forma transacciones de energía P2P registrando tanto la generación como el consumo de todos los participantes en tiempo real. Asimismo, la compañía está implementando proyectos piloto para su plataforma blockchain con el objetivo de admitir una amplia gama de aplicaciones en el mercado energético de Australia y Nueva Zelanda. En el año 2020 firma un acuerdo con uno de los mayores promotores inmobiliarios de la zona, Nicheliving, para desplegar su plataforma de comercio de energía solar basada en la cadena de bloques.
Sonnen	Alemania	Proyecto piloto que pone a disposición una red de baterías solares de almacenamiento doméstico descentralizadas para abordar las limitaciones asociadas con la capacidad de transmisión de energía. La tecnología blockchain permite el registro de la contribución que realizan las baterías, lo que permite la estabilización de la red eléctrica y la reducción de medidas de emergencia.
Axpo	Suiza	Plataforma P2P, basada en tecnología blockchain, que permite a los usuarios comprar electricidad directamente de productores de energía renovable.
Iniciativas para la gestión de la red y el funcionamiento del sistema		

Energy Web Foundation	Suiza	Constituida en febrero de 2017 por Grid Singularity y el Rocky Mountain Institute, esta organización global sin fines de lucro ha desarrollado una plataforma <i>blockchain</i> de código abierto que proporcione las funcionalidades necesarias para implementar casos de uso del sector energético a escala.
Sunchain	Francia	Almacenamiento de energía solar distribuida para prosumidores privados.
Eneco	Países Bajos	Desarrollo de una aplicación <i>blockchain</i> para crear una red de calefacción descentralizada en Rotterdam.
Enel	Italia	Compañía unida a Enerchain para realizar operaciones P2P en el mercado de la energía mayorista.
Iberdrola	España	A través de convenios con otras empresas, ha iniciado un proyecto relacionado con las compraventas basadas en la tecnología <i>blockchain</i> en los mercados mayoristas de energía y gas natural. Además, en septiembre de 2019 ha lanzado programa de cumplimiento normativo a través del sistema de cadena de bloques.
ACCIONA Energía	España	El proyecto, denominado Greenchain, se ha elaborado en convenio con la compañía FlexiDAO. Consiste en registrar la trazabilidad de la energía renovable con <i>blockchain</i> en cinco instalaciones eólicas e hidráulicas situadas en España para el suministro a cuatro clientes corporativos en Portugal. Además, esta compañía ha sido pionera en aplicar trazabilidad mediante <i>blockchain</i> en dos plantas renovables de Navarra con almacenamiento en baterías, bajo el proyecto Storechain.
Iniciativas para la gestión de certificados de renovables y certificación de origen		
ElectriCChain	Andorra	Plataforma de mercado para auditar datos de generación de energía solar descentralizada.
Energy Blockchain Labs	China	Plataforma de comercio de activos de carbono descentralizados.
SolarCoin	Estados Unidos	Proyecto lanzado en 2014 como un programa de recompensas para la generación de electricidad solar con criptomonedas.
Engie	Francia	Certificación del uso de energías renovables en los procesos productivos.

Russian Carbon Fund	Rusia	Sistema de auditoría con <i>blockchain</i> para proyectos climáticos.
Iniciativas para el financiamiento del desarrollo de energías renovables		
M-PayG	Dinamarca	Energía solar de pago por uso para los hogares a través de la tecnología <i>blockchain</i> .
MyBit	Suiza	Diseñado para ayudar a financiar colectivamente los paneles solares, distribuyendo la propiedad de cada sistema entre varios propietarios.
The Sun Exchange	Sudáfrica	Da la posibilidad de que los individuos puedan financiar la energía fotovoltaica y que la arrienden a escuelas y empresas en África. Se centra en la financiación y construcción de nuevos sistemas de generación, en lugar de comercializar energía. Ha financiado con éxito cuatro proyectos solares.
WePower	Lituania	Desarrollo de una plataforma basada en Ethereum para financiar proyectos de energía renovable, a través de la venta y comercialización de la energía "tokenizada" producida por esos sistemas.
Ministry of Micro Small and Medium Enterprises	India	Uso de la cadena de bloques de Ethereum para gestionar la logística de la cadena de suministro de telares textiles con energía renovable.
Iniciativas para la movilidad eléctrica		
eMotor Werks	Estados Unidos	Red de carga de vehículos eléctricos a través de la plataforma Share & Charge.
MotionWerk	Alemania	Utiliza la plataforma Share & Charge para proporcionar ubicaciones de carga de vehículos eléctricos descentralizados.
Chubu Electric Power Company	Japón	Proyecto piloto de servicio de carga de vehículos eléctricos basado en <i>blockchain</i> .
Enexis	Países Bajos	Creación de prototipos de transacciones de criptomonedas para la carga de vehículos eléctricos.
TennefT	Alemania	Desarrollo de un sistema basado en <i>blockchain</i> que integra baterías domésticas y carga para vehículos eléctricos.

Fuente: International Renewable Energy Agency (IRENA), *In-novation landscape for a renewable-powered fu-ture: solutions to integrate variable renewables*, Abu Dhabi. Datos de julio de 2018 e investigación de la autora.

En definitiva, se observa como en el sector energético, la tecnología de cadena de bloques está alcanzando un grado considerable de desarrollo efectivo, tanto desde el punto de

vista operativo como económico, sobre el que construir nuevos mercados y alternativas. Los casos de uso analizados muestran el proceso de digitalización de los nodos del sistema energético, con el objetivo de crear modelos de producción y distribución de energía innovadores, igualitarios y sostenibles.

4.1.2. Gobernanza urbana

En consonancia con lo apuntado anteriormente, el aspecto disruptivo de la tecnología *blockchain* es su capacidad de descentralizar el consenso y la confianza entre actores desconocidos en cualquier red de interacciones y transacciones que pueda darse en los espacios urbanos y metropolitanos, sin la necesidad de verificación por una autoridad central. En este sentido, el impacto inmediato de esta tecnología es el fortalecimiento de las capacidades de coordinación efectiva para las autoridades y la ciudadanía en un territorio. Asimismo, su registro inmutable y compartido permite aumentar la transparencia y verificabilidad de lo que ocurre en las ciudades, lo que provocará que aumente nuestro conocimiento sobre las urbes que habitamos.

La confianza, el consenso y el conocimiento son los aspectos centrales que ofrece la cadena de bloques para mejorar la eficacia y la eficiencia de la gobernanza urbana. Las grandes ciudades y áreas metropolitanas se enfrentan a grandes desafíos económicos y amenazas mediambientales. La gobernanza de las ciudades actuales, que se encuentra fragmentada entre diversas autoridades con poderes limitados, impide afrontar los desafíos de una manera coordinada y alcanzar una cohesión entre los territorios.

Sin embargo, con la tecnología de cadena de bloques se apuesta por una nueva institucionalidad de la gobernanza en las ciudades, donde se ofrezcan nuevas oportunidades para renovar el contrato social establecido entre las instituciones públicas y la ciudadanía; y donde se permita atender el enfoque territorial del desarrollo, impulsar nuevos patrones de consumo y producción, rastrear la reducción del consumo de los recursos naturales y movilizar el financiamiento necesario para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible fijados por las autoridades.

En el ámbito de la gobernanza urbana, podemos diferenciar cuatro líneas de

actuación fundamentales, en sintonía con las líneas estratégicas que definen los principios de una gobernanza urbana inteligente: la participación ciudadana, la propiedad y uso del suelo, los ecosistemas de activos y valores y la administración y contratación pública.

En lo que se refiere a la participación ciudadana, el valor que aporta *blockchain* a la gestión de identidades personales, gracias a su registro inmutable y a la protección anónima de sus datos, facilita que llegue a instrumentarse una agenda de gobernanza urbana centrada en las personas. La participación de esta nueva tecnología en procesos electorales no solo aportará confianza y transparencia hacia la clase política y su gestión de lo común, sino que facilitará el empoderamiento ciudadano en la realidad de sus comunidades y de su entorno urbano. Por consiguiente, se garantiza la confidencialidad e inmutabilidad del contenido del voto, así como la transparencia en todo el proceso; además, facilita la planificación de las elecciones, el registro y autenticación de los electores, la emisión y contabilización de los votos, la difusión, la auditoría y la verificación de los resultados.

Por ejemplo, el proyecto Decentralised Citizens Owned Data Ecosystem (DECODE), financiado por la Unión Europea y realizado en consorcio por 16 entidades -el Ayuntamiento de Barcelona, entre ellas- opera desde el año 2017 con el objetivo principal de que la ciudadanía recupere la propiedad de los datos personales que ellos mismos generan y que se refuerce el control que puedan tener a la hora de compartirlos. Inicialmente, se apostó por comenzar con dos iniciativas piloto desarrolladas en las ciudades de Barcelona y Ámsterdam, con la atención puesta en tres áreas temática concretas: la economía colaborativa, el internet de las cosas y la democracia abierta y participativa. Después de su experimentación en estos últimos tres años, estos dos proyectos piloto permitieron firmar peticiones políticas sin tener que revelar información personal sensible, mientras la ciudadanía ejerce su participación en plataformas de democracia digital; compartir datos de sensores sobre molestias por ruido y contaminación del aire con sus comunidades y ayuntamientos sin riesgos de seguridad o privacidad, estableciendo preferencias de intercambio de datos a través de una plataforma de contrato inteligente; o demostrar la identidad u otras características

de un individuo con una simple aplicación sin revelar información sensible²⁰.

Por otra parte, la utilización de la tecnología *blockchain* en los procesos electorales ha sido una de las primeras áreas que algunos gobiernos han comenzado a explorar. En el año 2014, el partido político de Dinamarca, Alianza Liberal, lo puso a prueba para un proceso de voto interno; en ese mismo año, el Gobierno de Moscú lanzó la iniciativa Active Citizen, una aplicación para voto electrónico en referendos ciudadanos de temas relacionados con la gestión de la ciudad y la planificación urbana. Otro ejemplo es el de Australia Post, el servicio postal estatal de Australia, con la elaboración de un plan para una votación ciudadana. Esta iniciativa comenzó con la organización de pequeñas elecciones corporativas y comunitarias, como experiencia previa, antes de trasladar su aplicación a las elecciones parlamentarias. Estados Unidos ha ido más allá y en el año 2018 se creó una aplicación piloto móvil basada en la cadena de bloques para realizar la votación en las elecciones regionales de Virginia. Además, todo el proceso de votación por la candidatura presidencial de los Estados Unidos en 2020 ha sido registrada en redes *blockchain* (Ethereum y EOS) para la posteridad, bajo la iniciativa desarrollada por la agencia de noticias estadounidense Associated Press, en convenio con la empresa Everipedia.

La segunda línea de actuación es la propiedad y uso del suelo en las ciudades, donde la tecnología *blockchain* garantiza el registro de la propiedad y ordena las transacciones, obligaciones e imposiciones del mercado inmobiliario con sus finanzas correspondientes. De este modo, se permite un ecosistema en torno al valor inmueble en el que se incluyen a todos los agentes involucrados en la planificación o administración urbana: la ciudadanía, las personas y entidades propietarias del suelo, las empresas relacionadas del sector, las autoridades certificadoras, tasadoras o tributarias. El uso de esta tecnología permite representar como activos digitales los derechos reales de propiedad de un bien inmueble, así como su registro y certificación y de los derechos edificatorios o de

aprovechamiento urbanístico. Asimismo, facilita el conocimiento público sobre su historia de procedencia, transacciones y obligaciones, con el fin de atender el enfoque territorial del desarrollo y movilizar el mercado inmobiliario para lograr la fiscalidad y el financiamiento indispensable para una urbanización sostenible.

Algunos de los países pioneros en la implementación de esta tecnología para el registro de la propiedad de bienes raíces son España, Japón, Suecia y Reino Unido. En el caso de España, el Colegio de Registradores de España y Alastria²¹ están explorando métodos en los que se incorpora la tecnología *blockchain* para agilizar la gestión de los millones de documentos relacionados con los registros de la propiedad, el mercantil y el de bienes raíces.

Por su parte, el gobierno de Japón también está desarrollando proyectos sobre el uso de la cadena de bloques en el registro de la propiedad y en todos los trámites relacionados con los bienes raíces. La intención es identificar y unificar todos los datos existentes sobre propiedades vacías, tierras y espacios improductivos, propietarios desconocidos e inquilinos o usuarios sin identificar ante los organismos. Asimismo, la consolidación de estos datos y su disponibilidad ante todos los organismos y agentes competentes permitirá impulsar la reutilización de las tierras, promover la compraventa, controlar la reurbanización, optimizar el cobro de impuestos y diseñar planes ante desastres naturales.

En el caso de Suecia, la administración de Lantmäteriet, organismo encargado de la propiedad de tierras en Suecia, se encuentra digitalizada al cien por cien, pero los procesos de registro duran una media de tres a seis meses. Con la tecnología *blockchain*, estos procesos pueden durar horas. Esta administración lleva varios años experimentando con esta tecnología y en el año 2018 ya culminó la tercera fase de prueba de un proceso de compraventa con una demostración a tiempo real. De todas maneras, aunque desde el punto de vista tecnológico

²⁰ Decentralised Citizens Owned Data Ecosystem (DECODE), *Common Knowledge: citizen-led data governance for better cities*, London, 2020.

²¹ Alastria es un consorcio de empresas que nace para acelerar la creación de ecosistemas digitales a través de una plataforma colaborativa común. Desde su inicio cuenta con cerca de 70 empresas e instituciones participantes, entre las que se encuentran compañías como Telefónica, Santander, Bankia, BBVA, Repsol, Cepsa, Indra o Barceló Viajes, entre otras.

está todo a punto, es necesario que Suecia reoriente su legislación en ciertos aspectos para avanzar en su consolidación.

Por último, el gobierno de Reino Unido, con el objetivo de acelerar los trámites administrativos y contar con datos confiables para el registro de la propiedad, está diseñando y probando soluciones *blockchain* que permitan reducir los tiempos de ejecución y los gastos administrativos asociados. La intención es convertir a la plataforma HM Land Registry en una referencia mundial en cuanto al registro de propiedades y que esta se caracterice por su velocidad, simpleza y gran potencial. Igualmente, otros países también se han unido a ejecutar proyectos similares, como es el caso de Australia, Brasil, Georgia, Ghana, Dubai, India o México.

La tercera línea de actuación es la relativa a la aplicación de la cadena de bloques en los ecosistemas de activos y valores urbanos. Si estamos buscando modelos de producción, gestión y consumo innovadores e inteligentes en las ciudades, es imprescindible reconocer los valores que se deben impulsar para atender a los intercambios de activos y valores no financieros en las comunidades.

En este sentido, el registro de transacciones de la tecnología de cadena de bloques permite registrar los valores que cada comunidad defina como relevante. Si lo importante es el consumo de bienes naturales, el registro del historial de procedencia presentará la trazabilidad de la agricultura orgánica o de la huella de carbono; si se trata de determinar el consumo de bienes culturales, las cadenas de procedencia evidenciarán el intercambio de contenidos; o, si el objetivo es reforzar un comportamiento específico que promueva el interés comunitario particular, se enfatizarán aquellos valores de género, creencia, comportamiento ético o cualquier otro tipo de valor que cada grupo defina.

Por ejemplo, en el área metropolitana de Buenos Aires, se encuentra el proyecto Waba, una aplicación que promueve la inserción social, cívica y económica de habitantes de asentamientos irregulares a través de comunidades de intereses que autogestionan la gobernanza de sus propias monedas alternativas en sus mercados locales. Otro proyecto de interés es la Wuhan Phoenix Chain Technology, desarrollado en Wuhan, por el que se creó un algoritmo por consenso que motiva financieramente el comportamiento ético y honesto mediante

premios monetarios. Es decir, se paga a las personas usuarias por crear valor en la red comunitaria, a través de actividades éticas y transacciones financieras que incluyen comprar y vender bienes y servicios de calidad, actividades que fomentan la sostenibilidad medio ambiental y donativos a obras de caridad. Un último ejemplo es el de Toronto, donde se ha creado una plataforma de género dedicada a promover la educación y capacitación de las mujeres.

La última línea de actuación en el ámbito de la gobernanza es la incorporación de la tecnología *blockchain* a la administración pública y a los procesos de contratación. Es evidente que el registro inmutable de las acciones que realiza el gobierno favorece la transparencia y la capacidad de auditar su historial de ejecución fomenta la responsabilidad en el servicio público. Ambas cuestiones favorecen la aparición de nuevos modelos de gobernanza y autonomías locales que mejoran el funcionamiento de las ciudades mediante conjuntos de instrumentos urbanos integrados.

Con la cadena de bloques se genera una reestructuración de los sistemas administrativos que permitirán la progresiva automatización de las funciones más simples y repetitivas que se producen en las Administraciones Públicas, gracias a la utilización de contratos inteligentes para la atención a la ciudadanía y a sus necesidades. Si se sigue evolucionando en este sentido, con el tiempo, se podrán constituir sistemas híbridos -humanos y digitales- automáticos y descentralizados.

A excepción del caso de Dubai, no existe todavía ningún ejemplo de gobierno urbano o metropolitano estructurado completamente en torno a las tecnologías de la información y la comunicación, como *blockchain*. De todas maneras, sí que existen algunas primeras experiencias en la mejora de procesos y actuación del sector público local, especialmente en los territorios de Asia. Por ejemplo, se ha recurrido a la creación de un contrato inteligente, formulado por la iniciativa Pan-Impact Korea, para registrar y evaluar las promesas de las personas recién electas y funcionarias del gobierno metropolitano de Seúl, de la ciudad metropolitana de Busan y de la provincia de Gyeonggi. Para la evaluación del impacto de sus ofertas, se emitieron 50 millones de tokens o fichas, uno por cada habitante de Corea del

Sur. Este contrato no tiene valor económico, pero sí de credibilidad y representa lo que se denomina capital de credibilidad.

En el caso de Pequín, se reconoce por primera vez el potencial de las tecnologías de registro distribuido con la creación del Comité Nacional para la Estandarización de Blockchain y DLT por parte del Ministerio Chino de Industria y Tecnologías de la Información, para ayudar a construir el ecosistema de emprendedores. Asimismo, la Agencia de Desarrollo Municipal de Shanghai, el Reform Research Institute, Wanxiang Blockchain Lab, Ant Financial, Webank y Micro Focus Bank han creado SBIDRA, Shanghai Blockchain Industry Development Research Alliance, para fomentar la estandarización de la tecnología entre las empresas.

Como puede observarse en esta breve aproximación, la cadena de bloques facilita la gestión y la institucionalización de nuevas formas de gobernanza urbana y metropolitana con innovadores escenarios de transparencia, monitoreo, evaluación, automatización de transacciones, generación de conocimiento, diseño de políticas y promoción de nuevos mercados de producción y consumo.

4.1.3. Sostenibilidad medioambiental

Las ciudades se configuran como entornos y espacios de gran relevancia para la sostenibilidad medioambiental. Existe una lucha continua contra las congestiones producidas por el tráfico urbano, la contaminación atmosférica de las grandes ciudades y la ineficiencia de la gestión de los residuos. Sin embargo, la evolución y maduración de determinadas tecnologías, como IoT, la Inteligencia Artificial o la cadena de bloques contribuye a la búsqueda de una mejora de la gestión del agua, la monitorización de la calidad del aire, la gestión energética de edificios e infraestructuras urbanas o el adecuado mantenimiento de parques y jardines.

Uno de los casos de uso de la tecnología *blockchain* en este ámbito es la solución desarrollada por la empresa española Hopu, encargada de la monitorización de la calidad del aire en 25 ciudades localizadas en España, Bélgica y Alemania. Con la incorporación de la cadena de bloques a su actividad se garantiza el registro de los datos, su trazabilidad y se permite el acceso a ayudas verdes europeas a sus usuarios. El sistema se

compone de sensores que miden los parámetros atmosféricos y los envían a la plataforma de gestión. Por ejemplo, la ciudad de Cartagena fue la primera en implantar el sistema Hopu en 2018, con la recogida de los datos registrados por los sensores para reverdecer la ciudad. Actualmente, Hopu vigila el nivel de contaminación y pólen en Madrid, Valencia, Murcia, Badajoz, Gerona, Santander, Cartagena, Lanzarote y La Palma, en tres ciudades belgas y con la inminente implantación de su sistema en una ciudad alemana.

Otro de los retos a los que se enfrenta la sostenibilidad medioambiental es impulsar el avance y la innovación desde una economía lineal a una economía circular, al mismo tiempo que se fomenta a transparencia de los procesos, la concienciación y la reducción de costes. En este sentido, la organización sin ánimo de lucro Ecoembes y la empresa Minsait han construido una plataforma *blockchain* denominada CircularChain. Esta red de registros distribuidos permitirá contribuir a que las Administraciones Públicas, las entidades locales, los operadores, los recicladores y otras organizaciones puedan compartir de forma segura todos los datos del sistema y acelerar todas las transacciones vinculadas al proceso de selección de residuos. Además, esta plataforma contará con sistemas de auditoría inteligente a partir de los registros generados por todos los involucrados en la cadena, lo que permitirá comprobar, a tiempo real, si las corporaciones y gobiernos cumplen estrictamente sus compromisos medioambientales en cuanto a la gestión de los residuos.

En definitiva, la aplicación de la tecnología *blockchain* en el contexto urbano, junto a otras tecnologías de la información y la comunicación y en consonancia con los principios que rigen el ideario de las ciudades inteligentes, refuerza la transformación urbana en todas sus dimensiones hacia ciudades descentralizadas, transparentes y en constante adaptación a las necesidades y demandas de sus comunidades. Este nuevo escenario que se plantea abarca un ecosistema de innovaciones y emprendedores, donde se permite la utilización económica de internet generando un impacto incuestionable en las dinámicas económicas tradicionales y en el conjunto de las organizaciones sociales²².

²² R. Sunyer, *Blockchain y las posibilidades que ofrece*

5. Consideraciones finales

Cuando observamos la realidad urbana, se percibe un clamor ciudadano que demanda nuevos modelos de desarrollo que nos permitan adoptar un papel activo y consciente con el entorno y los espacios que nos rodean, para hacer frente a los problemas que se producen en las ciudades y áreas metropolitanas del mundo. En este sentido, se demandan Administraciones Públicas transparentes, eficientes e integradas en la vida diaria de la ciudadanía; nuevas formas de prestación de servicios urbanos, que impliquen a todos los actores involucrados; así como servicios horizontales, abiertos y disponibles para los ciudadanos en cualquier dispositivo, en cualquier momento y de forma directa. Esto pasa, irremediablemente, por reforzar un proceso de descentralización que facilite la adaptación de las ciudades a la realidad social, económica, cultural y política.

Sin embargo, el reto no se limita a contar con entidades, organizaciones, empresas y gobiernos o administraciones que posean la etiqueta de “digital”, sino que se logre una operabilidad y conectividad real con la ciudadanía, que solamente podrá alcanzarse con una apuesta firme por la incorporación de tecnologías disruptivas en aquellas parcelas donde pueden aportar valor. De este modo, es fundamental integrarse en el mundo que nos rodea, incorporar el talento disponible y recibir e interiorizar los impulsos transformadores que la sociedad y las empresas están creando a gran velocidad.

De esta nueva concepción sobre la gestión pública nacen las iniciativas y el desarrollo de ciudades inteligentes, en las que las tecnologías de la información y la comunicación adoptan un papel esencial. En este contexto, el interés por la aplicación de la tecnología *blockchain* es creciente, sin embargo, el nivel de maduración de las experiencias es bajo y muchas de las iniciativas se encuentran todavía en fase de experimentación. Es importante señalar que, a pesar de los esfuerzos realizados por los numerosos expertos para explicar la funcionalidad, las características y el alcance de esta tecnología, su nivel de complejidad es alto y su usabilidad no es simple, lo que dificulta su aceptación generalizada.

Uno de los aspectos controvertidos al

analizar las posibilidades que ofrece esta tecnología es el consumo de energía creciente que se necesita para alcanzar el consenso en la red, como puede observarse en la red de Bitcoin. Por este motivo, es necesario disponer de una red tecnológica fuerte y con capacidad suficiente como para que no existan límites operacionales en su funcionamiento; así como para evitar la apropiación por parte de determinados agentes que puedan condicionar la apertura o el acceso a la misma, hecho que destruye la esencia del funcionamiento de la cadena de bloques.

Por otra parte, se observa que existe un abuso en el uso del término *blockchain* y, para algunos expertos, su aplicación en otros usos distintos del financiero puede ser cuestionable. Manuel Polavieja²³, ingeniero informático y experto en Bitcoin, afirma que cualquier sistema es incapaz de verificar de forma autónoma la existencia y las cualidades de las cosas que son externas al propio sistema. Es decir, si los datos son externos al sistema, será necesario delegar en terceros de confianza, que es precisamente lo que se pretende evitar con la implantación de este sistema. Quizás esta sea la visión más purista de los analistas de la cadena de bloques, pero es importante tenerla en cuenta a la hora de reflexionar sobre los posibles desarrollos futuros del sistema.

A pesar de estos y otros obstáculos posibles identificados, no se debe ignorar que esta tecnología, que comenzó con el surgimiento de Bitcoin y se asoció directamente con el sector financiero y monetario, está experimentando un relevante crecimiento, con la creación de plataformas *blockchain* en otros ámbitos y sectores. Actualmente, existen cientos de plataformas y aplicaciones sujetas a esta tecnología, sin embargo, las previsiones de los analistas apuntan que *blockchain* no se encuentra a la altura de las expectativas y la mayoría de los proyectos empresariales están estancados o en proceso de experimentación, sin alcanzar la madurez esperada. En este sentido, es importante señalar que un factor importante para reactivar el impulso de su aplicación es el marco legislativo y regulatorio que dificulta y limita identificar casos de uso que trasciendan de un proyecto piloto. Este último aspecto que debe ser objeto de un

para una nueva economía urbana, Working papers, Universidad Oberta de Catalunya, 2018, 11.

²³ Se puede consultar en: <https://juandemariana.org/ijm-actualidad/analisis-diario/el-uso-y-abuso-del-termino-blockchain/>.

estudio particular, en línea a los argumentos expuestos en este artículo.

De este modo, por el momento, no se está produciendo una revolución comercial digital a través de *blockchain* en los ecosistemas empresariales y se prevé que esto no ocurra hasta, por lo menos, el año 2028, donde se espera que se convierta en una tecnología completamente estable técnica y operativamente. En este sentido, los expertos señalan que todos los desarrollos que en la actualidad se están produciendo cambiarán el patrón actual. Se prevé, pues, que en el año 2023 estas plataformas sean escalables, interoperables y admitirán la portabilidad de contratos inteligentes, la funcionalidad de cadena cruzada y las transacciones privadas confiables, con la confidencialidad de datos requerida.

En conjunto, estos avances tecnológicos nos acercarán más a la cadena de bloques convencional y a la web descentralizada, conocida como web 3.0. Se afirma que, con el tiempo, las cadenas de bloques autorizadas se integrarán con las cadenas de bloques públicas y aprovecharán los servicios compartidos, al tiempo que se respaldan los criterios de membresía, gobernanza y modelo operativo de las cadenas de bloques autorizadas.

A pesar de la escasa madurez de esta tecnología, los agentes urbanos y sus aparatos de gobierno no deben quedarse al margen de las transformaciones tecnológicas, sociales o económicas que demanda una ciudadanía más participe en un entorno donde impera la transparencia, la confianza, la ética y la empatía. En este sentido, *blockchain* puede convertirse en una oportunidad o en una amenaza, de lo que dependerá su desarrollo futuro.

En definitiva, es conveniente apostar por enfoques graduales y por fases, para así obtener pequeños triunfos que permitan identificar los posibles beneficios y aprender de los aspectos fallidos que permitan una consolidación adecuada de esta tecnología en el funcionamiento de las ciudades.