El futuro digital es de todos

MinTIC

Guía de Referencia para la **adopción e implementación de proyectos con tecnología blockchain** para el Estado colombiano.



Hechos QUE CONECTAN

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Carmen Ligia Valderrama Rojas – Ministra

Viceministerio de Transformación Digital
Iván Mauricio Durán Pabón - Viceministro de Transformación Digital

Ingrid Montealegre Arboleda
Directora de Gobierno Digital

Oscar Jairo Arboleda Urrego
Asesor de viceministerio de Transformación Digital – MinTIC

Centro de Innovación Pública Digital
Dirección de Gobierno Digital

Equipo de Política, Gestión Internacional, Analítica y Mediciones
Dirección de Gobierno Digital

Autor de la versión 1.0:
Sergio Espinosa – Asesor Blockchain del Banco de Desarrollo de América Latina – CAF, quien contó con el apoyo del Banco de Desarrollo de América Latina – CAF.

Autores de la versión 2.0:
María Victoria Osorio Cruz – Coordinadora del Centro de Innovación Pública Digital
Jhon Caballero Martínez – Asesor del Centro de Innovación Pública Digital
Laura Villamil Velásquez – Asesora del Centro de Innovación Pública Digital

La nueva versión contó con el apoyo de la Consejería Presidencial para la Transformación Digital y Gestión y Cumplimiento; y la Dirección de Economía Naranja y Desarrollo Digital del Departamento Nacional de Planeación.

Agradecimientos especiales por sus aportes al ingeniero Luis Papagni de la Secretaría de Innovación Tecnológica del Sector Público de Argentina y a los ciudadanos que compartieron vía correo electrónico los comentarios a la versión de trabajo publicada el 01 de julio de 2022.

Versión 1 Diciembre / 2020	**Versión 2** Mayo / 2022
Guía de Referencia para la adopción e implementación de proyectos con tecnología blockchain para el Estado colombiano.	Guía de Referencia para la adopción e implementación de proyectos con tecnología blockchain para el Estado colombiano.

Comentarios, sugerencias o correcciones pueden ser enviadas al correo electrónico: gobiernodigital@mintic.gov.co

Esta guía de la Dirección de Gobierno Digital se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

CONTENIDO

Contenido 3
Introducción 4
La tecnología blockchain 7
- Antecedentes 8
- La cadena de bloques 10
- Los principios de blockchain 15

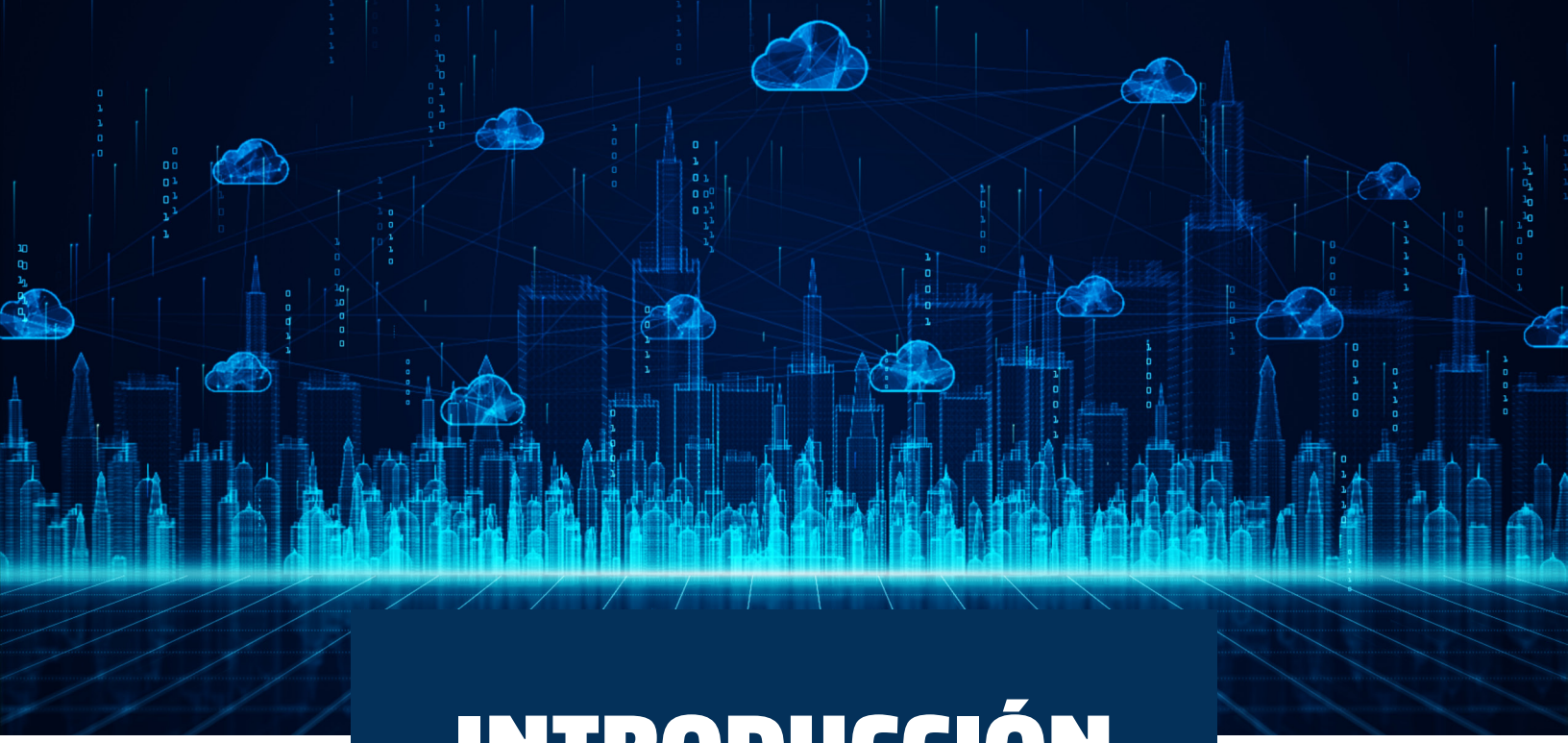
La arquitectura de blockchain 20
- La diferencia entre computación centralizada y descentralizada 21
- Identificación de los tipos de blockchain 25
  - Blockchain públicos 26
  - Blockchain privados 26
  - Blockchain de consorcio o federados 27
  - Blockchain semiprivado o híbridos 27
- Configuración de permisos de red blockchain 28
- ¿Cómo hacer una 31
- Integración blockchain? 31
- ¿Cómo se validan los 32
- Datos en blockchain? 32
  - Prueba de trabajo (pow) 32
  - Prueba de participación (pos) 32
  - Prueba de participación delegada (dpos) 33
  - Prueba de participación alquilada (lpos) 33
  - Prueba de tiempo transcurrido (poet) 33
  - Tolerancia práctica de fallos bizantinos (pbft) 33

Tecnología blockchain al servicio del gobierno como plataforma 34
Gobernanza de la tecnología blockchain 37
- Hoja de ruta para implementar un enfoque de gobernanza de la tecnología blockchain 39
- Un proyecto de tecnología blockchain en el sector público colombiano 41

Propuestas para el uso de blockchain en el sector público colombiano 42
- Desarrollar estrategias para impulsar el talento humano 43
- Condiciones habilitantes para apropiar la tecnología 47
- Identificar oportunidades de uso y estrategias de uso 53
  - Identifique los casos de uso de las tecnologías emergentes 55
  - Verifique la viabilidad 55
  - Establezca los requisitos previos 56
  - Establezca el marco de gobierno 56
  - Defina la estrategia de apropiación 56

Casos de aplicación en colombia 59
- Red uxtic.Co 59
- Universidad jorge tadeo lozano 60
- Sena innova 60
- Fundación universitaria del área andina 60
- Cámara de comercio de bogotá 60
- Bogotá aprende tic 61
- Universidad nacional de colombia 61
- Universidad javeriana 61
- Universidad eafit 61
- Universidad jorge tadeo lozano 62
- Lucha anticorrupción utilizando blockchain 62
- Blockchain tierras 63
- Rita 65
- Banco de la república 65
- Xm del grupo isa 66

Bibliografía 69
Referencias recomendadas 75
Referencias sobre oferta de educación en blockchain 79



INTRODUCCIÓN

La adopción de tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial (4RI) y el desarrollo de políticas públicas que fomenten su desarrollo se han configurado como elementos necesarios para lograr retos sociales, económicos y políticos del presente y del futuro, así como para desatar los procesos de innovación social que requieren nuestros países. Durante los últimos años se ha discutido la importancia del uso de las tecnologías emergentes (TE) en la sociedad, como aquellas que buscan mejorar la calidad de vida de las personas y facilitan la gestión de las tareas en el día a día. El conjunto de tecnologías asociadas a *blockchain* ofrece respuestas eficaces a problemas sociales, económicos y políticos actuales, y tiene el potencial de mitigar las brechas existentes que desencadenan sistémicamente problemas en estas áreas del desarrollo.

Esta guía de referencia espera ser un instrumento que estudia la tecnología *blockchain* con énfasis en el sector público, facilita el acercamiento del Estado a esta tecnología y promueve un enfoque ético y de cumplimiento acorde con la realidad colombiana en articulación con la Política de Gobierno Digital. A su vez, esta guía proporciona un enfoque de gobernanza para el contexto colombiano, presenta los lineamientos para el desarrollo de proyectos de *blockchain* en entidades gubernamentales y brinda herramientas de forma que los proyectos sean diseñados y operados organizada, escalonada y estructuradamente, a partir de las recomendaciones y buenas prácticas.

Además, en la guía se documentan las características fundamentales y diferenciadoras de la tecnología *blockchain* como pilar para el desarrollo y la mejora de procesos e interacción con el ciudadano. Por eso, es necesario abordar, entre otros, los siguientes atributos que caracterizan a esta tecnología:



Inmutabilidad de los registros
Una de las características clave de blockchain. La capacidad de resistir el cambio y permanecer inalterable e indeleble, incluso en un entorno descentralizado y distribuido, es lo que hace que esta tecnología sea interesante para las entidades que buscan mayor transparencia y confianza en sus procesos misionales.



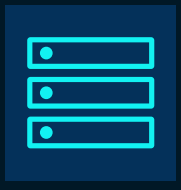
Seguridad de la Información
Las características técnicas de la tecnología permiten –ante fallas de disponibilidad en la infraestructura de tecnologías de la información– no comprometer la integridad de los registros. Además, los datos se almacenan de forma cifrada y la interacción con estos se da a partir del consentimiento de su titular con relación a los datos personales, lo que produce una adecuada trazabilidad de dichas interacciones, al quedar registradas en la cadena de bloques.



Eliminación de intermediarios
Las instituciones y ciudadanos pueden interactuar directamente sin la necesidad de terceros que validen sus transacciones, esto reduce costos de intermediación, asimetrías de información y demoras asociadas a la intervención de más actores en un proceso.



Trazabilidad
Posibilidad de conocer la traza completa de un elemento de información desde el primer momento en que es almacenado. Esto permite, por ejemplo, que un título de propiedad esté plenamente identificado y que sus atributos asociados se puedan conocer.



Base de Datos Descentralizada
Las bases de datos están descentralizadas cuando no se encuentran en un único servidor o centro de datos, lo cual proporciona resiliencia a los datos, porque no dependen de un registro único como fuente de información. Los registros distribuidos permiten que la inmutabilidad de los datos y la confiabilidad del sistema sean únicas, en comparación con las bases de datos convencionales.



Es importante tener en cuenta que en agosto del 2020 se publicó para comentarios una primera versión de los lineamientos de *blockchain* para el Estado Colombiano, denominado *Guía para el uso y la implementación de tecnología de registros distribuidos (DLT/Blockchain) en el sector público*, documento en el que se desarrollaron bases teóricas y se documentaron algunos ejemplos implementados en el sector público de lugares como Emiratos Árabes Unidos, Estonia, China, Unión Europea, Canadá y Estados Unidos. La expedición formal de esta guía se dio a principios de 2021, en la que se incluyeron los comentarios relevantes recibidos y se constituyó como un documento referente en la materia para el país.

Para la segunda versión, se realizó una reducción sobre lo esencial de la tecnología y se aclararon los fundamentos para entender su origen, así como su marco de gobernanza. También se dispuso de un término para la realización de comentarios de la ciudadanía, los cuales han sido acogidos en precisiones técnicas y aclaraciones conceptuales.

Ahora bien, es importante aclarar que este documento busca facilitar orientaciones generales sobre proyectos de tecnología *blockchain*, precisando en sus aspectos básicos, pero no pretende convertirse en un estándar técnico de obligatorio cumplimiento para los actores públicos o sus procesos de innovación pública. De ahí que, no se señalen procesos de alto nivel o detalles sobre el uso convergente con otras tecnologías, puesto que el principio de neutralidad tecnología refiere que el Estado debe garantizar la libre adopción de tecnologías, teniendo en cuenta recomendaciones, conceptos y normativas de los organismos internacionales competentes e idóneos en la materia.

Por tanto, esta guía corresponde a un instrumento de derecho blanco en el marco del Decreto 767 de 2022, por lo que se reconoce el libre mercado y la autonomía de cada una de las entidades públicas en definir sus propios términos de referencia para adoptar proyectos basados en tecnología *blockchain*.

Así pues, es evidente que las tecnologías emergentes van a un ritmo acelerado y por ende es necesario realizar una actualización de la guía mencionada, en aras de facilitar la adopción de tecnología basada en registros distribuidos en el país y plantear recomendaciones sobre cómo se debe implementar la tecnología blockchain para el Estado.


LA TECNOLOGÍA
BLOCKCHAIN



ANTECEDENTES

La tecnología de cadena de bloques o *blockchain* es vista de forma generalizada como un protocolo informático que incorpora el intercambio de información, la criptografía, las redes entre pares y, en algunos casos, la prueba de trabajo para proporcionar una base de datos con características de integridad e inmutabilidad. Es decir, *blockchain* no surge en el vacío, sino que obedece al desarrollo de otras innovaciones tecnológicas que, en conjunto, consolidan propiedades de trazabilidad y desintermediación de la información. Es por ello que antes de abordar el detalle de la tecnología blockchain, conviene hacer una breve reseña de sus antecedentes tecnológicos para entender su funcionamiento.

En sus inicios, el sistema criptográfico básico proporcionaba cierta seguridad y hacía frente a la interceptación, pero debido a que las claves tenían que ser acordadas por las partes, podrían verse comprometidas y vulnerar la confidencialidad del mensaje trasmitido. De ahí que la clave privada fuera una innovación al eliminar la necesidad de recordarlas, pero aún era susceptible de mejoras, por lo que se desarrolló el algoritmo RSA para vincular la clave pública y privada mediante la multiplicación de grandes números primos que proporcionan mayor integridad. La adopción de este mecanismo fue de gran relevancia, en tanto que resultó sencillo multiplicar los números primos juntos, pero extremadamente difícil calcular los números para el proceso de factorización de números primos, lo que hace imposible descubrir la clave privada en algún proceso de ingeniería inversa (Rivest et al., 1978).

A su vez, la rápida expansión de internet presentó una corriente de interés sobre las redes y el ciberespacio, de manera que se diseñaron nuevos protocolos funcionales dentro de la misma red, como el Protocolo de Transferencia de Correo Simple (SMTP), el Protocolo de Transferencia de Archivos (FTP) y el Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP) (De Filippi y Wright, 2018a; L. Liu y Antonopoulos, 2010). No obstante, el modelo de 'cliente-servidor' era el mismo, razón por la cual, para eliminar la intermediación y promover el intercambio eficiente de recursos, se consolidó una arquitectura peer to peer (P2P), cuyo enfoque es exteriorizar una red de distribuida a híbrida.

Así pues, con la tecnología P2P ya no se requiere un servidor que centralice la información, sino que son los usuarios finales quienes comparten o recuperan recursos directamente de un equipo a otro por conducto del proveedor de servicios de internet (ISP, por sus siglas en inglés). De esta manera, el rendimiento de la red mediante el ancho de banda, el procesador y almacenamiento de los nodos (un punto de conexión físico o virtual donde se puede crear, enviar y recibir toda clase de datos e información) o usuarios que integran la red no depende de un tercero para su operación (L. Liu y Antonopoulos, 2010). La primera generación de tecnología P2P fue de carácter centralizado, pero a medida que se superaron cuestiones relativas a la escalabilidad, puntos de fallo y los asuntos legales, surgieron redes descentralizadas que se masificaron en productos y servicios en internet.

A finales del siglo pasado se realizaron varios esfuerzos para combinar estas tecnologías, en aras de consolidar lo que Timothy May denominó crypto credits en el auge del movimiento criptoanarquista. Este movimiento abogaba por aprovechar internet y los desarrollos en criptografía para realizar contratos electrónicos de forma anónima y segura (May, n.d., 1994). No obstante, pese a los esfuerzos de David Chaum por efectuar pagos electrónicos con las compañías DigiCash y Cyberbucks, no se logró la masificación suficiente ni una desintermediación total, dado que era dependiente del modelo 'cliente-servidor' (Caballero Martínez, 2019a; De Filippi y Wright, 2018a; Wang, 2018).

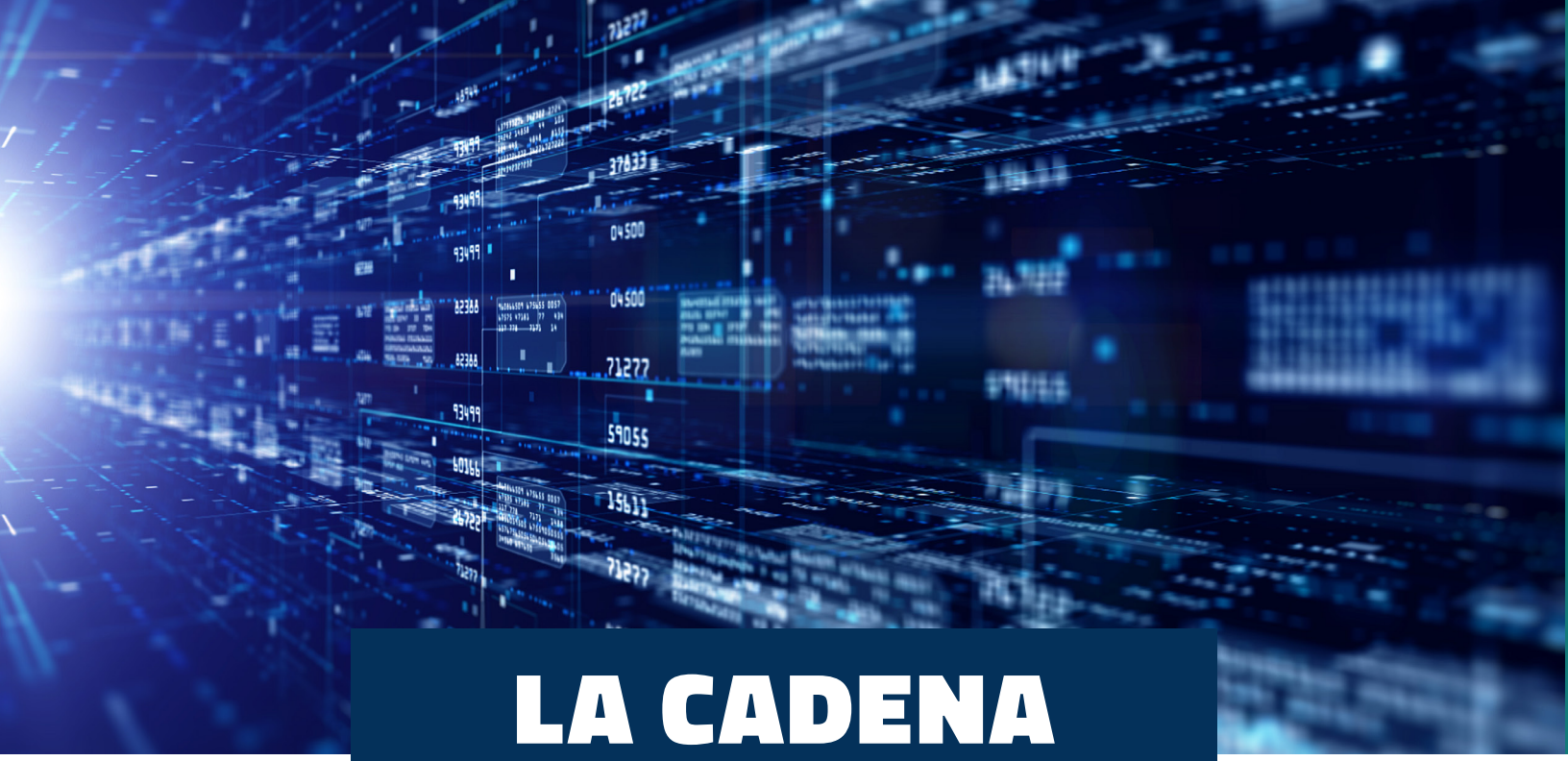
En el 2008, estos esfuerzos son retomados y es publicado un documento referido a un sistema de pago electrónico basado en prueba criptográfica, el cual permite que dos partes realicen transacciones directamente entre sí, sin necesidad de un tercero de confianza (Nakamoto, 2008). Este protocolo se conoció como el protocolo original de Bitcoin y sentó las bases para lo que hoy se denomina la tecnología *blockchain*.

Pese a que blockchain surgió con el propósito de evitar el doble gasto y permitir la operación de un sistema sin una entidad centralizada, su funcionamiento resultó atractivo, por lo que el sistema de consenso distribuido se adoptó rápidamente en materias asociadas a activos digitales, contratos inteligentes, plataformas tecnológicas y otras aplicaciones en sectores de la educación, la salud y el sector público (Swan, 2015). Por ello, algunos sectores de la doctrina consideran "[...] más apropiado hablar de tecnologías de libro mayor distribuido ("DLT"), que denotan una categoría más amplia" (Mik, 2019, p. 162).

En ese sentido, si bien la tarea más compleja que ha tenido que enfrentar blockchain "es la de desprenderse de la complicada herencia que la vincula con bitcoin" (Tapscott et al., 2017, p. 16), se ha convertido en una innovación importante en diversos sectores de la economía, ya que propende por la disminución de costos, el aumento de la confianza y la garantía de inmutabilidad de registros. En cuestiones gubernamentales, también expone una rápida expansión como dinamizador de las estrategias de gobierno digital, ya que su infraestructura descentralizada puede democratizar servicios ciudadanos y facilitar las interacciones entre las instituciones, los ciudadanos y los agentes económicos (Allessie, David; Sobolewski, Maciej; Vaccari, 2019).



"...*blockchain* no surge en el vacío, sino que obedece al desarrollo de otras innovaciones tecnológicas..."



LA CADENA DE BLOQUES

La tecnología blockchain plantea la existencia de un registro mayor distribuido dotado de inmutabilidad para proveer transparencia e integridad en la realización de operaciones y el intercambio de información (Endemann et al., 2020). Si bien no existe un concepto universalmente aceptado, se entiende de modo general como una base de datos digital que registra información de forma cronológica y pública, lo que fomenta la transparencia y crea confianza gracias a la existencia de una red distribuida de nodos (De Filippi y Wright, 2018b; Holbrook, 2020a).

Pese a que se ha trata de delimitar un concepto acorde con los elementos base que le dieron origen, la doctrina es reiterativa en afirmar que la definición de la cadena de bloques es ubicua y varia respecto al autor y el campo de aplicación práctico de la tecnología. En principio, el White Paper del protocolo Bitcoin, señalaba que *blockchain* se restringía a un sistema electrónico de pagos que proveía de seguridad, pero con el paso del tiempo, es claro que blockchain es mucho más que criptoactivos, por lo que se trata de una discusión superada.

De hecho, el ingeniero Joseph Holbrook (2020a) propone que para facilitar el entendimiento conceptual es necesario enfocarse en alcance funcional de la tecnología y su observador, de manera que para los técnicos sea una estructura de datos compartida e inmutable; para los comerciales, una red para intercambiar valor; y para los abogados, un registro sustentado por múltiples nodos que es resistente a la corrupción. En un sentido más simple, "una cadena de bloques es un libro mayor distribuido o una base de datos compartida a través de una red digital. Lo que lo hace diferente de la mayoría de la información que se ejecuta en Internet es que las cadenas de bloques son, como la Internet temprana, sistemas distribuidos entre pares" (Ragnedda & Destefanis, n.d., p. 30).

Desde una visión institucional, la OCDE describe a la cadena de bloques en los siguientes términos: **"Un blockchain es un libro de registro compartido de transacciones entre las partes de una red, no controlado por una única autoridad central. Se puede pensar en un libro de cuentas como un libro de registro: registra y almacena todas las transacciones entre usuarios en orden cronológico. En lugar de que una autoridad controle este libro de contabilidad (como un banco), todos los usuarios de la red, llamados nodos, tienen una copia idéntica del libro de registro"** (OECD, 2018, p. 4).





Mientras que en un estudio encargado por el Banco Interamericano de Desarrollo, se señala en estos términos: **"[...] blockchain es una forma de estructurar una base de datos mediante un listado de bloques que contienen información almacenada y están unidos de forma consecutiva. Cada bloque nuevo del listado está unido al anterior al contener, de forma simplificada mediante un hash, toda la información del bloque precedente"** (Chomczyk, 2020, p. 26).

De acuerdo con ello, blockchain es un mecanismo descentralizado que elimina intermediarios hasta el punto de que sea posible, dada la implementación de criptografía y la determinación de un modelo de consenso. En consecuencia, esta tecnología expone un conjunto de datos encadenados que permite ingresar información, su procesamiento junto a una función 'hash' remite una salida en representación alfanumérica de la misma, con la salvedad de que solo con esta representación alfanumérica no se puede volver a los datos originales (Taskinsoy, 2019).

De hecho, al contar con un sello de tiempo y aplicar mecanismos que impiden la alteración de los datos ingresados en la cadena, blockchain presenta características intrínsecas de rastreabilidad y resistencia a la manipulación, lo que favorece su uso en proyectos que requieren transparencia y trazabilidad (Taskinsoy, 2019). De ahí que los principales casos de aplicación estén dados en el seguimiento de cuestiones financieras, la gestión de suministro y asuntos legales (United States Government Accountability Office, 2022, p. 3).

Tal y como se reseñó en el apartado de antecedentes, blockchain no es completamente nuevo, sino que agrupa los avances que se presentaron en otras tecnologías como las redes entre pares, la criptografía, la prueba de consenso y el procesamiento de la información para constituir un registro resistente a manipulaciones para los activos digitales.

En esta agrupación de innovaciones, el hashing resulta ser preponderante para blockchain, ya que, gracias a la aplicación de conceptos criptográficos de nivel superior, es posible convertir un conjunto de datos de cualquier dimensión en una salida única de tamaño fijo, que para los efectos de esta tecnología, es un código alfanumérico que se encadena con un conjunto de información subsiguiente (Kumar Jena y Priyambada Dash, 2021). Es decir, la aplicación de una técnica criptográfica en un registro descentralizado permite que grandes cantidades de información encuentren un equivalente en código alfanumérico, que a su vez se enlaza a un nuevo conjunto de información para generar un efecto de cadena.

En el transcurso de este proceso se genera el denominado número nonce, el cual se asocia al mecanismo de consenso de prueba de trabajo empleado para cada protocolo de cadena de bloques. De este modo, según el tipo de cadena de bloques y el consenso establecido en su algoritmo, se genera un número aleatorio que se combina con los datos del bloque para una salida hash.

BLOCKCHAIN

Bloque	1
Nonce	252130
Data	Guía de Referencia Blockchain del Estado Colombiano
Prev.	0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
Hash	0000561cfb7591f0affe7be92536d5b5cb7cc00ac7ddda2bf327c62535f9dfb5

Cuando se emite un segundo conjunto de información, el código alfanumérico resultado de la aplicación del hashing se integra a la generación de uno nuevo, lo que provoca un efecto de cadena, de ahí su denominación de cadena de bloques.

BLOCKCHAIN

Bloque	2
Nonce	107173
Data	Actualización de la Guía de Referencia Blockchain del Estado Colombiano
Prev.	0000561cfb7591f0affe7be92536d5b5cb7cc00ac7ddda2bf327c62535f9dfb5
Hash	0000ac26575faaec8030798ee1c38ffe2ccd059256b7cb209e8de08002cbd762

Cada conjunto de información corresponde a un bloque, y cada bloque se integra de la data, su hash y un nonce, que equivale a la prueba de trabajo prevista al consenso del algoritmo. De esta manera, cuando se altera la información, el bloque se invalida porque no hay correspondencia entre la data y el hash generado.

BLOCKCHAIN

Bloque	2
Nonce	107173
Data	Actualización de la Guia de Referencia Blockchain del Estado Colombiano
Prev.	0000561cfb7591f0affe7be92536d5b5cb7cc00ac7ddda2bf327c62535f9dfb5
Hash	fe9b5ad9653ea941fb8a7b02aca7c0a0286518c4877b578eb52e5aacc2c7f592

Por ello, es considerada como una de las clasificaciones de las denominadas Distributed Ledger Technology (DLT), que hace referencia a las diversas formas de aprovechar las redes informáticas para compartir información de forma descentralizada (OCDE, 2019). Sin embargo, la particularidad de la tecnología blockchain es que dicha información se encadena con el hash y de ahí su amplia popularidad.

Ahora bien, cada interacción entre dos entidades constituye una operación dentro del protocolo de la cadena de bloques, lo que implica la necesidad de emplear un mecanismo de verificación de identidad por cada una de las partes que participa. Para tal efecto se aplica criptografía de clave asimétrica en el sistema, de tal manera que cada nodo cuenta con una dirección pública que lo identifica y una wallet para el registro en la base de datos compartida (Caballero Martínez, 2022; Kumar Jena y Priyambada Dash, 2021).

Cada nodo de la red puede detentar una categoría dentro del protocolo conforme se tengan previsto en el algoritmo original, por lo que puede que algunos usuarios tengan menores o mayores credenciales en el uso de la cadena de bloques. A modo de ejemplo, en la cadena de bloques de Bitcoin, es posible identificar: (1) broadcast only mode, referido a los nodos que se encargan de hacer trasferencias en forma de operaciones dentro de la red; (2) relay nodes, encargados de mantener disponible la red y retrasmitir las transacciones para que estén registradas en la cadena de bloques; y (3) mining node, los cuales llevan a cabo las pruebas de trabajo para la creación de bloques en la cadena y proporcionan capacidad de procesamiento dentro de la red (Márquez Solís, 2016; Nakamoto, 2008).

Adicionalmente, se prevé una clave privada para cada nodo, la cual permite verificar la identidad del usuario dentro de la red y hacer operaciones mediante el protocolo de la cadena de bloques. Hay diferentes modalidades para administrar y gestionar las contraseñas que facilitan la interacción en la cadena de bloques, pero ello atiende a las diversas implementaciones previstas respecto la forma de almacenar las claves privadas, ya que puede hacerse mediante un almacenamiento manual o un software para almacenarlas (Kumar Jena y Priyambada Dash, 2021).

Así las cosas, el modelo de funcionamiento de la tecnología blockchain permite la transferencia de valor digital en un registro descentralizado, pero también tiene el potencial de transferir y procesar cualquier clase de datos y hacerle seguimiento; cada bloque de la cadena comprende información relativa a un conjunto de operaciones que fueron impulsadas por los nodos que integran la red, a diferencia de las operaciones tradicionales que exigen un tercero de confianza (Caballero Martínez, 2019b, 2022). Es decir, la tecnología de cadena de bloques elimina al intermediario y propone que cada usuario participe en una red distribuida que conserva una copia colectiva de esa información, por lo que es confirmada y fácilmente cotejable por cualquier actor en la sociedad (Berryhill, Jamie; Bourgery, Théo; Hanson, 2018).

Conforme con lo anterior, es posible señalar que gracias al potencial de blockchain, hay una oportunidad de mejorar los procesos en el sector público y reducir costos de operación, aspectos que propenden por la confianza y aumentan la transparencia entre los ciudadanos y el Estado (Berryhill, Jamie; Bourgery, Théo; Hanson, 2018). En ese sentido, las bases de datos que el Gobierno emplea en variedad de sectores son susceptibles de ser leídos por maquinas, razón por la cual esta tecnología puede ser considerada como una solución tecnológica para analizar y usar la información para proveer datos abiertos (Carullo, 2021).



LOS PRINCIPIOS DE BLOCKCHAIN

La tecnología de cadena de bloques resulta de gran interés por la tecnología subyacente que la caracteriza, pero también por la comunidad que se ha construido sobre la misma. De hecho, las raíces de lo que hoy se denomina *tecnología de registros distribuidos* se remonta al ideal criptoanarquista que buscaba eliminar a los intermediarios hasta el punto en que fuese posible y se presentaron varios intentos para conseguirlo.

Es el avance científico en criptografía y procesamiento lo que permitió finalmente consolidar un proyecto que se denominó protocolo Bitcoin como "un sistema de efectivo electrónico usuario-a-usuario", el cual resultó fácilmente replicable y de ahí que hoy existan miles de protocolos de cadena de bloques con un enfoque y aplicación completamente distinto entre sí. En consecuencia, la fortaleza de *blockchain* está en los nodos que la componen y en los principios fundantes que describen a esta tecnología para garantizar la integridad del sistema (Nakamoto, 2008; Preukschat et al., 2018). Dicho de otro modo, la naturaleza de la tecnología descentralizada tiene como base pilares que exigen el cumplimiento de estándares éticos por defecto y atienden al espíritu colaborativo de la comunidad que integra la red de nodos (Tapscott et al., 2017).

Bajo ese entendido, la doctrina identifica algunos principios básicos en el diseño e implementación de un proyecto basado en tecnología blockchain, que son presentados de forma abierta en esta guía, pero no constituyen una lista cerrada:



1. SEGURIDAD

señala que la cadena de bloques aplique criptografía para proveer confidencialidad y opción de verificación segura a las operaciones. Por ello, la importancia de considerar un mecanismo de uso de clave pública y privada para corroborar la identidad y evitar suplantación (Tapscott et al., 2017).



2. RESISTENCIA

propone que la información se replique en un gran número de nodos de forma idéntica, de manera que siempre sea posible identificar la cadena más larga y mantener vigente el funcionamiento del protocolo (Attaran y Gunasekaran, 2019). Igualmente, que se facilite la verificación de las operaciones sin requerir la intervención de una entidad central.



3. INMUTABILIDAD

se encamina a implementar medidas que garanticen la permanencia e inalterabilidad de la información registrada en la base de datos que compone la red distribuida (Tapscott et al., 2017). Para tal efecto, se puede acudir a mecanismos de consenso que promuevan la colaboración colectiva con incentivos.



4. TRANSPARENCIA

busca que todas las operaciones almacenadas en la cadena de bloques sean accesibles y visibles para todos conforme a las previsiones del proyecto (Warburg et al., 2019). Es decir que cualquiera pueda identificar que se trata de una interacción real y que fue verificada por otros nodos dentro de la red. Cada uno de los registros debe contar con un estampado cronológico que permita determinar las circunstancias de tiempo y la cronología de los bloques.



5. CREACIÓN DE VALOR

se propone un reconocimiento para aquellos nodos que facilitan capacidad de procesamiento dentro de la red o trabajan en pro del desarrollo de esta. En algunos protocolos el incentivo está dado en tokens válidos dentro de la plataforma, lo cual contribuye al crecimiento del sistema (Tapscott et al., 2017).



6. PRESERVACIÓN DE LA PROPIEDAD

la cadena de bloques está diseñada para evitar el doble gasto y evitar posibles fraudes o suplantaciones (Tapscott et al., 2017).



7. INCLUSIÓN SOCIAL

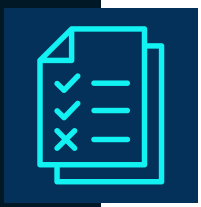
la tecnología blockchain puede funcionar dentro de cualquier red, incluido los más elementales de internet como TCP/IP. Se busca que esta tecnología sea accesible para todos y, que incluso, funcione sin internet de ser necesario gracias a la verificación de pago simplificado (Tapscott et al., 2017).

> Ahora bien, cuando se trata del sector público, hay que considerar además la aplicación de los principios que rigen la función pública y los procedimientos administrativos consagrados en la Ley 489 de 1998, Ley 1437 de 2011, Ley 1712 de 2014, Ley 1341 de 2009 y, en particular, los establecidos en el Decreto 767 de 2022 sobre la Política de Gobierno Digital:



1. ARMONIZACIÓN

la implementación de la tecnología blockchain puede articularse con la Política de Gobierno Digital, atendiendo al conjunto de normas, lineamientos, estándares y guías que componen esta política de manera integral.



2. ARTICULACIÓN

el proyecto de exploración de la tecnología blockchain puede partir de pilotos o pruebas que apropien la tecnología e identifiquen su aplicación por competencias, pero es conveniente que se encamine a una visión institucional que involucre a varios equipos y a los tomadores de decisión. Es menester que el proyecto tenga relación con los objetivos estratégicos y misionales que persiguen, así como la participación de los grupos de interés.



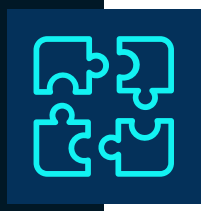
3. CONFIANZA

es recomendable que el objetivo de implementación de tecnología blockchain sea promover la confianza y encaminar el equilibrio entre las expectativas ciudadanas y el funcionamiento de las instituciones públicas. Los mecanismos que se implementen en las iniciativas que involucren cadena de bloques deben ajustarse a la garantía de la seguridad digital, la protección de datos y la transparencia pública.



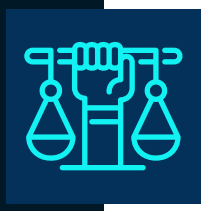
4. COMPETITIVIDAD

la cadena de bloques tiene el potencial de promover las capacidades de los grupos de interés y optimizar la gestión pública en aras de promover la eficiencia y economía en el Estado.



5. COOPERACIÓN

la tecnología blockchain puede propiciar el desarrollo económico y social del país, para lo cual resulta primordial promover el enfoque de compras públicas para la innovación y establecer alianzas de cooperación con la academia para la transferencia de tecnologías, conocimientos, experiencias o recursos, en el contexto nacional e internacional.



6. RESPETO DE LOS DERECHOS HUMANOS

ningún proyecto basado en tecnologías emergentes puede sobrepasar el respeto de los derechos humanos y las garantías constitucionales. Se sugiere asegurar un marco de gobernanza para denotar mecanismos suficientes y adecuados que garanticen el ejercicio pleno de los derechos de las personas en sus relaciones con el Estado.



7. INNOVACIÓN

la tecnología blockchain debe potenciar la generación de valor público como estrategia para introducir e impulsar soluciones novedosas a retos públicos y de fortalecimiento a procesos de innovación centrados en las personas, que movilicen la acción colectiva, con un enfoque experimental que facilite el relacionamiento Estado-ciudadano. Se invita a considerar pruebas de conceptos y productos mínimos viables para iterar y delimitar necesidades por cada uno de los actores.



8. LEGALIDAD TECNOLÓGICA

el protocolo basado en tecnología distribuida que resulte para la prestación de servicios y trámites debe cumplir con la Constitución, la ley y los reglamentos. Los derechos que se ejercen de manera analógica también deben garantizarse en las cuestiones digitales.



9. PARTICIPACIÓN

se recomienda considerar procesos de deliberación, formulación, ejecución, control y evaluación de la gestión pública. Se sugiere la adopción de mecanismos basados en design thinking que involucren a múltiples partes interesadas en la planeación de cualquier proyecto de tecnología blockchain.

10. PROACTIVIDAD

es importante involucrar a diversos actores y desarrollar capacidades que les permitan anticiparse a las necesidades de los ciudadanos y, en general, los habitantes del territorio nacional, en la prestación de servicios de calidad y mitigar riesgos asociados a la continuidad y disponibilidad de estos, así como la identificación de riesgos. La tecnología blockchain es aplicable a toda clase de dependencias en cada una de las instituciones del sector público y no solo a la oficina de tecnologías de la información.

11. PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

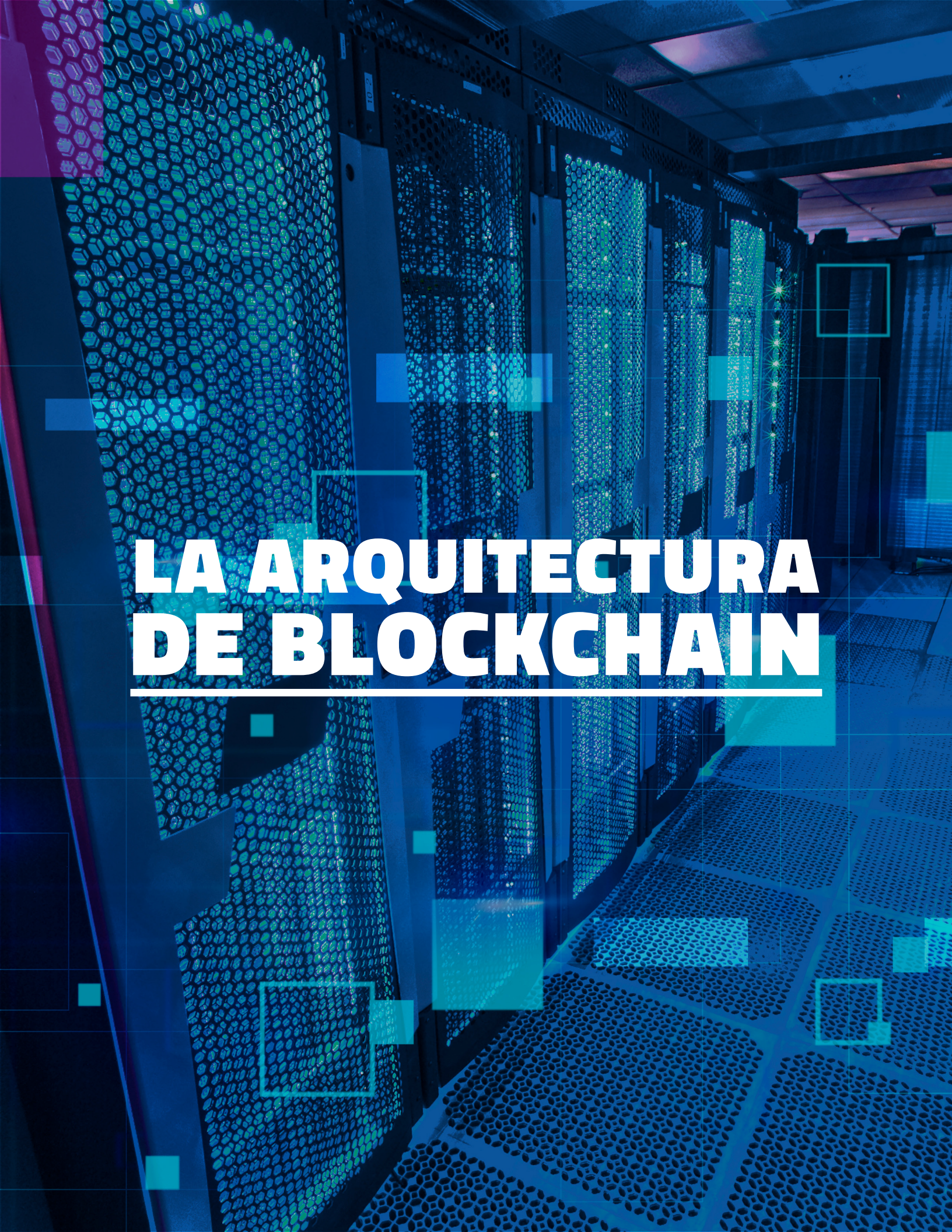
las instituciones pueden propender por un proceso iterativo, a fin de conocer e identificar la cadena de bloques que más se ajuste a sus objetivos estratégicos, siempre que ello no afecte la inoperatividad de servicios ciudadanos digitales.

12. RESILIENCIA TECNOLÓGICA

siempre es conveniente atender a la prevención de riesgos que puedan afectar la seguridad digital. Cualquier proyecto de tecnología blockchain propenderá por la disponibilidad de los activos, la recuperación y continuidad de la prestación del servicio ante interrupciones o incidentes.

> De esta manera, se dejan sentadas las bases en materia de principios frente a la cadena de bloques. No se puede dejar de mencionar que las instituciones del Estado se encuentran sujetas al principio de legalidad, y en esta medida deben atender a criterios mínimos definidos en el ordenamiento jurídico.





LA ARQUITECTURA DE BLOCKCHAIN



LA DIFERENCIA ENTRE COMPUTACIÓN CENTRALIZADA Y DESCENTRALIZADA

El almacenamiento de información y el surgimiento de soluciones basadas en software hizo necesario considerar un espacio físico que facilitara los servidores para la operación y servicio de sitios web y plataformas accesibles mediante internet. Ello planteó desafíos técnicos importantes, puesto que además del diseño de un servicio, se hace necesario definir la arquitectura en la que operaría y el servidor que permitiría que este servicio esté disponible permanente para los posibles usuarios.

En ese sentido, surge la computación como aquella tarea que realiza una máquina frente al proceso de cálculo orientado a un objetivo, el cual puede ser simple o complejo según el proyecto (Arjun et al., 2020). Desde entonces se consolidó un modelo centralizado de cliente servidor para el almacenamiento de información, bajo la operación de un tercero responsable de la disponibilidad y mantenimiento.

El funcionamiento del servicio en un servidor central proporcionado por una compañía tenía como implicación que la información fluyera en un solo sentido, es decir, de la empresa hacía los clientes, pero no al contrario (De Filippi y Wright, 2018a). Además, se generaban traumatismos porque causaban cuellos de botella que terminaban en el colapso del acceso al servicio.

En consecuencia, se exploraron nuevos mecanismos basados en peer-to-peer que permitieron desarrollar soluciones en las cuales se actuara como proveedor y consumidor de recursos y ello resulta como antecedente de la computación en la nube que relacionó varios servidores deslocalizados y creó un modelo de servicio que continuó siendo centralizado, pero con múltiples servidores administrados por terceros, quienes en el marco de un contrato proveen niveles de abstracción del servicio y modelos de despliegue en nubes públicas, privadas, híbridas y comunitarias (De Filippi y Wright, 2018a; Ruparelia, 2016).

Sin embargo, a medida que se consolidaba un modelo de servicio basado en la centralización, empezaron a diseñarse otras redes superpuestas sobre internet



que también partieron del modelo peer-to-peer, pero para intercambiar información entre nodos, sin requerir la disponibilidad de un servidor o depender de una entidad centralizada, por lo que se diseñaron sistemas inteligentes de búsqueda y se robusteció el rendimiento para la recuperación de datos de la red (Rattanapoka, 2010). Así es como se llega a la idea de la computación distribuida para resolver problemas de cálculo más complejos y prescindir de la dependencia de terceros de confianza (Arjun et al., 2020).

De ahí que se distinga la arquitectura de computación centralizada como aquella que busca facilitar el acceso a información o software, gracias al procesamiento en componentes administrados por una entidad central y conectados entre sí (Arjun et al., 2020). Mientras, la computación distribuida presenta un escenario donde se accede a la información o servicio de manera descentralizada y sin la intervención de terceros de confianza en componentes distribuidos que están conectados, pero sin algún elemento central de coordinación o control (Arjun et al., 2020).

La arquitectura de red distribuida no cuenta con un servidor central como fuente de la información, sino que comprende diversos nodos que fungen como servidores dispersos en diferentes lugares del mundo. No obstante, solo algunos de ellos son considerados como nodos completos, los cuales son responsables de "[...] la ejecución del software operativo subyacente de la red, el llamado protocolo de red, para garantizar que toda la información compartida a través de la red se adhiere a ciertas normas de seguridad, formato de datos y tamaño de los bloques" (Lang, 2021, p. 120).

En todo caso, cada uno de los nodos cuenta con una copia del registro de las operaciones de la red y, al realizarse nuevas operaciones, estas deben ser validadas por otros nodos que identificarán al emisor y receptor, con el fin de establecer el origen y evitar lo que se denomina el doble gasto. Una de las virtudes más importantes de la tecnología blockchain radica en la posibilidad que tiene cualquier usuario de hacer trazabilidad y rastrear la transferencia de valores desde el final de la cadena hasta su origen, dando trazabilidad y seguimiento inmutable (Caballero Martínez, 2022; Tapscott et al., 2017).

De igual modo, para explicar cómo se evidencian las diferencias entre la arquitectura centralizada y la distribuida en un proyecto blockchain, la tabla 1 muestra un comparativo (Redes Centralizadas VS Distribuidas. | by ICommunity.Io | Medium, n.d.):

SEGURIDAD

CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA
Si un usuario tiene acceso a la información contenida en el servidor, cualquier dato podría agregarse, modificarse y eliminarse	Todos los datos se distribuyen entre los nodos de la red. Si se agrega, edita o elimina un dato en cualquier servidor de la red, se reflejará en todos los demás servidores de la red. Si se aceptan algunas enmiendas legales, se difundirá nueva información entre otros usuarios de toda la red. De lo contrario, los datos se copiarán para coincidir con los otros nodos. Por lo tanto, el sistema es autosuficiente y autorregulador. Las bases de datos están protegidas contra ataques deliberados o cambios accidentales de información

DISPONIBILIDAD Y RESILIENCIA

CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA
Si se presentan varias solicitudes, el servidor puede presentar indisponibilidad y no responder adecuadamente.	Pueden soportar la presión significativa sobre la red. Todos los nodos de la red tienen los datos y las solicitudes se distribuyen entre los nodos. Por lo tanto, la presión no recae en una computadora, sino en toda la red. En este caso, la disponibilidad total de la red es mucho mayor que en la centralizada

ACCESIBILIDAD Y CIBERSEGURIDAD

CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA
Si el almacenamiento central tiene problemas, no se podrá obtener su información a menos que se resuelvan los problemas. Además, si los usuarios tienen necesidades de acceso diferenciales, pero dada la centralización los procesos son uniformes y homogéneos, es posible que se presenten problemas de accesibilidad para cierto tipo de clientes.	Dado que la cantidad de computadoras en la red distribuida es grande, ataques de denegación de servicios (DDoS por sus siglas en inglés) son posibles solo en caso de que su capacidad sea mucho mayor que la de la red.

TASAS DE TRANSFERENCIA DE DATOS

CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA
En redes centralizadas el usuario no puede elegir un nodo de conexión.	En redes distribuidas, el cliente puede elegir el nodo de conexión y trabajar con toda la información requerida, en el punto de localización geográfica de su preferencia.

ESCALABILIDAD

CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA
Las redes centralizadas son difíciles de escalar, ya que la capacidad del servidor puede ser limitada y el tráfico no puede ser infinito. En un modelo centralizado, todos los clientes están conectados al servidor. Por lo tanto, todas las solicitudes para recibir, cambiar, agregar o eliminar datos pasan por la computadora principal. En consecuencia, es capaz de llevar a cabo su trabajo de manera efectiva solo para el número específico de participantes. Si la cantidad de clientes es mayor, la carga del servidor puede exceder el límite de disponibilidad durante el tiempo en que se presente dicho incremento.	Los modelos distribuidos no presentan problemas de escalabilidad, ya que la carga se comparte entre varias computadoras.

Fuente: IoComunity.io

> En algunas circunstancias será conveniente acudir a una cadena de bloques de arquitectura centralizada o distribuida conforme las necesidades del proyecto, pero al final, su diseño y adopción propende por la reducción del 'coste de la confianza', lo que permite optimizar recursos y promover una cultura organizacional abierta y transparente en el Estado (Lang, 2021).

IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE BLOCKCHAIN

Se han identificado varios tipos de blockchain, descritos gráficamente en la figura 2:

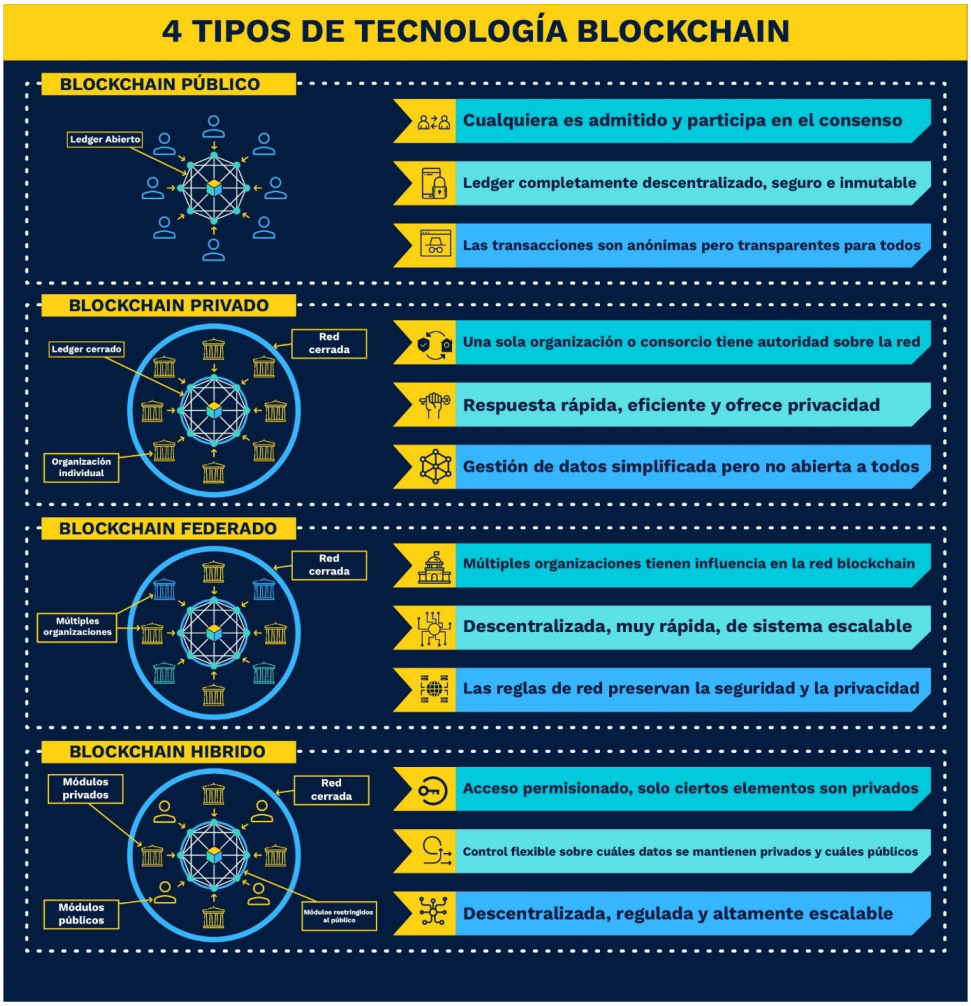


Figura 2 – Tipos de blockchain
Fuente: Tomado de 101Blockchains.com.

A continuación se presentan los tipos de blockchain más comunes:

BLOCKCHAIN PÚBLICOS

Cualquiera puede leer un blockchain público, enviar transacciones o participar en el proceso de consenso. Se los considera "sin permiso". Todas las transacciones son públicas y los usuarios pueden mantenerse anónimos en algunas aplicaciones. Bitcoin y Ethereum son ejemplos destacados de blockchain públicos.

Ventajas:

- Todo aquel que quiere puede obtener copias de las transacciones, ya que están distribuidas entre todos los participantes
- Todo aquel que así lo desee puede unirse a la red.
- Al ser redes públicas, todos los participantes tienen los mismos derechos y nadie está a cargo o tiene alguna propiedad especial.
- Nadie puede cambiar o manipular los datos una vez han sido registrados.

Desventajas:

- Alto consumo energético.
- Todas las transacciones pueden ser rastreadas hasta una misma billetera, aunque en la mayoría de los casos no supone un problema dado que las cuentas suelen ser anónimas.
- Se debe pagar comisión a los mineros para realizar transacciones.

BLOCKCHAIN PRIVADOS

Los blockchain privados son controlados por una única organización o consorcio que determina quién puede leerlos, presentar transacciones en este y participar en el proceso de consenso. Dado que están cien por ciento centralizados, los blockchain privados son además útiles como entornos de prueba.

Ventajas:

- Poseen mayor rendimiento, lo que se traduce en velocidad, porque la cantidad de actores en la red es menor.
- Dado que son redes privadas, el anonimato no existe y presenta un mayor nivel de confiabilidad.
- Los usuarios no deben pagar comisión por el uso de la red.

Desventajas:

- Los registros se encuentran centralizados totalmente y son de acceso cerrado, por lo que pertenecen a una única entidad u organización.

BLOCKCHAIN DE CONSORCIO O FEDERADOS

En los blockchain de consorcio, el proceso de consenso es controlado por un grupo preseleccionado, un grupo de empresas o instituciones. Por ejemplo, el derecho a leer el blockchain y enviar transacciones puede ser público o restringido a los participantes. Los blockchain de consorcio se consideran 'blockchain autorizados'.

Ventajas:

- Reduce costes de transacción y redundancia de datos y reemplaza los sistemas legales, esto simplifica la gestión de documentos y se deshace del mecanismo de cumplimiento semimanual.
- Permiten descargar la aplicación de blockchain y programar la cadena a gusto, escoger quién puede participar y bajo qué reglas se regulan las transacciones.
- Es posible y común crear entornos federados haciendo un fork de una red pública, para crear así una propia red personalizada.

Desventajas:

- Los propios administradores o entidades a cargo de la red proporcionan los recursos computacionales necesarios que cumplan con el propósito de generar el hash.

BLOCKCHAIN SEMIPRIVADO O HÍBRIDOS

Son operados por una sola empresa que le otorga acceso a cualquier usuario que satisfaga los criterios preestablecidos. Aunque no esté verdaderamente descentralizado, este tipo de blockchain autorizado es atractivo para los casos de uso business-to-business (negocios dirigidos a empresas) y aplicaciones de gobierno.

No obstante, es importante tener en cuenta que los híbridos son los que combinan redes privadas y públicas. A su vez, pueden tener operaciones en modo privado que eventualmente se registran en la red pública.

Ventajas:

- Funciona en un ecosistema cerrado, esto significa que las empresas u organizaciones no tienen que preocuparse de que su información se filtre cuando aprovechan la tecnología blockchain.
- Cambia las reglas cuando es necesario, sin embargo, la naturaleza del cambio depende de lo que se está tratando de hacer.
- Protección contra el ataque del 51 % (cuando una persona o grupo controla el 51 % del poder de la red), ya que los piratas informáticos no pueden acceder a la red para llevar a cabo el ataque.
- Protege la privacidad mientras se comunica con el mundo exterior.
- Bajo costo de transacción, ya que requieren pocos nodos para verificarlas

Desventajas:

- Proporciona un control flexible sobre blockchain.



CONFIGURACIÓN DE PERMISOS DE RED BLOCKCHAIN

Las redes blockchain pueden tener configuraciones de permisos en diversos niveles de acceso, por ejemplo, las configuraciones autorizadas indican acceso solo por invitación, privado o restringido. Las configuraciones sin permiso están completamente abiertas con acceso público. Las tres principales configuraciones de permisos en la red blockchain, son las siguientes:

- Acceso de lectura (capacidad para ver transacciones e información).
- Acceso de escritura (capacidad para enviar transacciones e información).
- Acceso a la participación por consenso (capacidad para servir como un nodo de validación de transacciones).

La tabla 3 expone las ventajas y desventajas de la configuración de la red blockchain sin permisos, con base en la construcción desarrollada por el Foro Económico Mundial para el uso de blockchain aplicado a licitaciones públicas:

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CONFIGURACIÓN DE RED BLOCKCHAIN SIN PERMISOS, APLICADO A LICITACIONES PUBLICAS

Acceso de lectura: sin permiso (con esquemas de confidencialidad de ofertas cuando corresponda).	**Acceso de escritura: sin permiso** (excepto para la participación de proveedores autorizados)
▸ Toda la información sobre transacciones y licitaciones es pública, lo que permite registros públicos permanentes y escrutinio en tiempo real. La legibilidad pública es fundamental para que los ciudadanos apropien la plataforma.	▸ El acceso de escritura pública les permite a los ciudadanos y otros actores que monitorean el proceso comentar dentro del sistema y generar alertas sobre posibles comportamientos sospechosos. El público puede presentar comentarios y quejas dentro del sistema durante períodos preestablecidos para comentarios públicos.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CONFIGURACIÓN DE RED BLOCKCHAIN SIN PERMISOS, APLICADO A LICITACIONES PUBLICAS

- Todas las ofertas públicas son visibles públicamente a partir del anuncio de la subasta. Nunca están encriptados y deben estar disponibles para acceso público inmediato.
- Todas las ofertas de los proveedores son públicas, pero están cifradas para todas las partes desde el momento en que se envían, hasta después del cierre del período de licitación, cuando se pueden descifrar. Una vez que el licitador concluye cada ronda de evaluación de ofertas, publica para el registro público toda la información de la oferta que se le reveló durante esa ronda de evaluación.
- Las decisiones de licitación y las evaluaciones por parte del licitador son siempre visibles al público y permanecen en registros permanentes tan pronto como se toman las decisiones. El público puede comentar sobre decisiones y evaluaciones durante períodos preestablecidos en el proceso de contratación.
- La presentación de ofertas de proveedores está parcialmente "autorizada" en la solución. Cualquiera puede enviar ofertas, pero solo se revisan las ofertas de cuentas prerregistradas oficialmente y que se registren mediante su propia contraseña. Todas estas ofertas están documentadas y el licitador no puede eliminarlas ni "censurarlas".
- La capacidad de un gobierno para realizar una oferta pública dentro de la solución blockchain también está "autorizada", de forma que los participantes que inician y realizan subastas en el sistema deben ser aprobados previamente por la institución a cargo de la licitación.

Acceso de participación por consenso
(participación en la verificación de la transacción): sin permiso

- El consenso sin permisos proporciona un alto grado de seguridad de red, medido en términos de la tasa de hash de la red para redes de prueba de trabajo como Ethereum. A través de varios tipos de algoritmos de consenso descentralizados más allá de la prueba de trabajo, la seguridad de la red es generalmente más alta en los sistemas sin permiso, ya que permiten más participantes de nodos, lo que a su vez aumenta los costos y la dificultad de un ataque de "doble gasto", donde un actor malintencionado o corrupto puede dominar el poder computacional o de voto de la red, ya sea mediante prácticas ilegales o colusión con otros nodos, con el fin de comprometer transacciones y registros.
- En general, la mayor seguridad de red que ofrece la descentralización maximizada del proceso de consenso solo se puede lograr en redes blockchain de consenso sin permiso. Es

Desventajas de una configuración de blockchain sin permisos:

- Rendimiento y escalabilidad de las transacciones: en igualdad de condiciones, las redes blockchain con participación de consenso sin permiso tienen una menor escalabilidad y rendimiento de transacciones, ya que sus algoritmos de consenso tienen requisitos de aprobación de transacciones más altos. La mayoría de las principales redes blockchain sin permisos tienen un rendimiento de transacciones hoy limitado. La red principal de Ethereum actual puede procesar aproximadamente 15 transacciones por segundo para todos los participantes globales, y, por lo tanto, actualmente no es adecuado para una implementación a gran escala. Con la congestión de la red, incluida la que podría ser causada por la propia aplicación de adquisiciones, las velocidades de transacción de la solución podrían ralentizarse.

particularmente valioso para los casos de uso de anticorrupción, ya que aumenta el costo y aumenta la dificultad de los actores corruptos para afectar indebidamente las transacciones y los registros en el sistema.

- Para las instituciones que organizan una nueva aplicación o servicio descentralizado, la participación por consenso sin permiso, generalmente tiene menores costos de configuración y mantenimiento, ya que no es necesario que ciertos participantes configuren nodos para operar la red.
- Por el contrario, en una red de consenso autorizado, los nodos prediseñados, u otras partes en su nombre, tendrían que asumir los costos de configuración y mantenimiento continuo, seguridad y actualización del software. También puede ser difícil identificar entidades adecuadas y confiables para operar los nodos.
- Tarifas de transacción: las redes de blockchain de consenso sin permisos requieren tarifas de transacción, por realizar la verificación de la transacción, para compensar a los nodos o a los mineros. Las tarifas de transacción generalmente se envían junto con las transacciones en el sistema. El uso de tarifas de transacción plantea varios problemas:

  i. Si bien las tarifas de transacción son generalmente muy bajas en las redes blockchain, son variables y pueden aumentar rápidamente en tiempos de congestión o estrés de la red.

  ii. El uso de criptoactivos para tarifas de transacción puede ser problemático en jurisdicciones donde su uso es ilegal o no permitido explícitamente.

  iii. Las tarifas de transacción pueden comprometer el anonimato del proveedor durante el período de licitación, ya que es posible que los proveedores deban pagar una tarifa de transacción rastreable al presentar su oferta.

- Puede que no sea legal que los proveedores paguen costos adicionales (es decir, tarifas de transacción) para utilizar un sistema de adquisición electrónica.
- Consumo de energía: un sistema basado en blockchain de prueba de trabajo, como el actual Ethereum, requiere un consumo y un costo de electricidad sustanciales. Los algoritmos de consenso alternativos, como la prueba de participación, consumen significativamente menos electricidad.

Fuente: Foro Económico Mundial Piloto de Transparencia con Procuraduría de Colombia.



¿CÓMO HACER UNA INTEGRACIÓN BLOCKCHAIN?

Blockchain, como red distribuida con unas características especiales, está soportada por sus nodos independientes, por lo tanto, inicialmente no sería necesario llevar la red de blockchain a los servicios de nube. No obstante, si los nodos de esta red son inestables, puede causar demoras en el procesamiento de los servicios. En caso de que se requiera la escalabilidad de los servicios de blockchain, los servicios dispuestos en la nube, entre otros criterios, pueden brindar la estabilidad requerida, de esta forma una integración entre nube y blockchain puede ser una solución que permite escalar y asegurar la disponibilidad de los servicios.

Es importante evaluar los casos en los que tiene sentido una integración en la nube para la operación de servicios blockchain, de forma que este tipo de solución se use para aquellas organizaciones que requieren aumentar las capacidades y evitar posibles dificultades con la tecnología existente.

Para realizar una integración blockchain, las entidades deben centrarse en los siguientes tres aspectos: la integración técnica, transaccional y organizativa.

Integración técnica: es importante entender cómo pueden desarrollarse la integración y operación con las tecnologías de la información existentes, y ver su engranaje con las transacciones blockchain.

Integración transaccional: se deben tomar decisiones sobre qué tipo de registros se requieren incluir en la cadena de bloques. Al respecto, es importante tener de referencia los lineamientos sobre Lenguaje Común de Intercambio del Ministerio TIC.

Integración organizacional: se debe contemplar la integración de cada participante en las transacciones de la cadena de bloques (El Profundo Impacto de La Integración de Blockchain - IBM Systems Blog Para Latinoamérica - Español, n.d.).



¿CÓMO SE VALIDAN LOS DATOS EN BLOCKCHAIN?

La validación de la información se lleva a cabo mediante un mecanismo llamado consenso. Este mecanismo define si un registro o información se puede inscribir en un bloque.

Una red blockchain puede “ponerse de acuerdo” en una transacción de muchas formas, dependiendo del ámbito de aplicación del proceso que esté sucediendo, a continuación, solo se desarrollarán los “consensos” más usados (BlockChain Services, 2020).

PRUEBA DE TRABAJO (POW)

Es uno de los de consensos más populares, y especialmente usado en criptoactivos. Los nodos muestran su esfuerzo (proof-of-work) compitiendo por resolver un complicado problema criptográfico que exige muchos cálculos y, por ende, muchísima energía en computación (PoW, PoS y PoI Para Principiantes, n.d.).

PRUEBA DE PARTICIPACIÓN (POS)

La prueba de participación es una alternativa al PoW. En este caso, los nodos validan los nuevos bloques de la cadena en una especie de lotería, en donde los boletos serían la cantidad de criptomonedas definida por la red, que el nodo decide asegurar para el proceso. Entre más criptomonedas tengan aseguradas, más boletos tiene ese nodo en la lotería y así mismo, más probabilidades de ser elegido como el próximo creador.

PRUEBA DE PARTICIPACIÓN DELEGADA (DPOS)

Es una versión del PoS donde los propietarios del criptoactivo eligen testigos (de allí su denominación delegada), esto permite una gran descentralización que puede beneficiar potencialmente a pequeños propietarios, pero facilitar posibles prácticas anticompetitivas que podría promover la cartelización, lo cual, iría en contra de la libre y sana competencia (BlockChain Services, 2020).

PRUEBA DE PARTICIPACIÓN ALQUILADA (LPOS)

Waves diseñó este refinado protocolo para resolver problemas de centralización y vulnerabilidades a ciertos ataques. Los pequeños propietarios 'alquilan' o agrupan sus tokens para tener más opciones de generar un nuevo bloque y ganar la recompensa (BlockChain Services, 2020).

PRUEBA DE TIEMPO TRANSCURRIDO (POET)

Este algoritmo, desarrollado por Hyperledger Sawtooth, sirve para redes públicas o privadas; define tiempos de espera aleatorios para generar nuevos bloques por nodos estocásticamente elegidos. Es muy imparcial, pero depende del nivel de procesamiento que tengan los nodos de la red (BlockChain Services, 2020).

TOLERANCIA PRÁCTICA DE FALLOS BIZANTINOS (PBFT)

Hace su nombre en referencia al cuento de los generales bizantinos. En este caso, los generales se conocen y confían los unos en los otros, simplemente para generar conceptos hacen votaciones en varias rondas.



TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN AL SERVICIO DEL GOBIERNO COMO PLATAFORMA

En el margen de su misionalidad, las entidades centralizadas y descentralizadas acuden a estrategias de transformación digital para acercarse al ciudadano y proporcionar servicios acordes con sus necesidades. En este sentido, la idea de gobierno como plataforma es empleado para referirse al ecosistema que se construye alrededor de desarrollos tecnológicos, componentes compartidos, estándares abiertos y aprovechamiento de datos (Pope, 2019). Es decir, es la identificación de aquellos componentes lógicos, programación e infraestructura para resolver necesidades y proporcionar productos o servicios específicos en pro de los ciudadanos.

El gobierno como plataforma es abordado dentro de las estrategias de gobierno digital, ya que además de facilitar el acceso a la administración pública, refuerza la idea de adoptar iniciativas digitales por diseño, servicios públicos centrados en el usuario y abiertos por defecto (Dener et al., 2021). Dentro de este análisis, una cultura de ejecución de la actividad administrativa apoyada en la innovación pública es apropiada para acercar el Estado a las personas y se encamina a la construcción de un gobierno abierto.

A su vez, el gobierno abierto es una nueva forma de actuar mediante la cual, a través de planes de acción, el Estado ofrece información sobre su gestión, proporciona rendición de cuentas y permite la participación de los ciudadanos en la gestión de los asuntos públicos. De manera que Blockchain puede facilitar la participación de la ciudadanía a través de "un sistema de acceso sencillo y libre a la información, bajo el cual se podrá impulsar la participación de los ciudadanos como elemento clave de este modelo de gobernanza basado en la democratización de la información" (Lucas, 2019). Con el fin de incrementar la participación ciudadana, el uso del blockchain permitirá aportar modelos innovadores de intercambio de información pública a través de mecanismos disponibles en formatos abiertos y accesibles, e impulsar la colaboración activa en los gobiernos.

La tecnología blockchain tiene este potencial de servir como plataforma de gobierno para promover un gobierno abierto, ya que se sustenta en los tres pilares básicos: la transparencia, ya que la Administración debe poner a disposición del ciudadano toda la información sobre lo que hace y cómo lo hace, en cumplimiento de la normativa establecida; la colaboración para facilitar el trabajo conjunto entre la sociedad civil, las empresas y la Administración; y la participación, directa o indirecta, de la ciudadanía, lo que requiere acceso a información que las administraciones públicas deberán poner a disposición.

Desde la ejecución de la Política de Gobierno Digital, la tecnología blockchain resulta estratégica, pero este documento no pretende superar la autonomía misional de las entidades en materia de tecnologías emergentes, razón por la cual la actualización de la Política de Gobierno Digital (a través de la expedición del Decreto 767 de 2022) incorporó la innovación pública digital como uno de los elementos que componen su estructura, pero sujeto al desarrollo de los lineamientos en materia de compra pública para la innovación, así como los procesos de compra pre-comercial y compra pública para incentivar la innovación.

Lo que propone la nueva actualización de la Política de Gobierno Digital, es que la implementación de tecnología cuente con un enfoque transversal basado en el relacionamiento con los grupos de interés, de manera que se cree valor público a través de la introducción de soluciones novedosas y creativas, que usen tecnologías de la información y las comunicaciones, así como metodologías de innovación, para resolver problemáticas públicas desde una perspectiva centrada en los ciudadanos.

En todo caso, el fin último de la cadena de bloques en el gobierno debe ser la transparencia como aspecto esencial para fomentar un gobierno abierto y garantizar los derechos de las personas. Es mediante las medidas de transparencia, que los datos deben ponerse a disposición del ciudadano y, además, el control del acceso a esa información tiene que estar regulado conforme con el consentimiento de los datos personales autorizados por el titular de acuerdo con la normativa de protección de datos. La transparencia está directamente relacionada con el deber de los poderes públicos de poner a disposición de los ciudadanos la información y los datos relacionados con su gestión.

Por otro lado, para facilitar la colaboración en la tecnología blockchain, se requiere impulsar la interoperabilidad, la cual es "es vista como la capacidad de las organizaciones para intercambiar información y conocimiento en el marco de sus procesos de negocio para interactuar hacia objetivos" (MinTIC, 2021), de manera que sea posible facilitar la entrega de servicios digitales a ciudadanos, empresas y a otras entidades, mediante el intercambio de datos entre sus sistemas TIC.

Para lograr la interoperabilidad, el Ministerio TIC dispuso del Marco de Interoperabilidad como un enfoque común para la prestación de servicios de intercambio de información. Este marco define el conjunto de principios, recomendaciones y lineamientos que orientan los esfuerzos políticos y legales, organizacionales, semánticos y técnicos de las entidades, con el fin de facilitar el intercambio seguro y eficiente de información.

Ahora bien, dada la novedad de la tecnología blockchain, es natural que exista un margen de incertidumbre sobre el componente de interoperabilidad de esta tecnología con otros sistemas del Estado colombiano. Por tal razón, se hace necesario que en la etapa de planeación del proyecto, se adopte un enfoque de gobernanza integrado a través de la interoperabilidad que atienda al marco legal, técnico y semántico, de suerte que sea posible integrar la operación de la cadena de bloques a otros sistemas de gestión de datos sin requerir de intermediarios para el intercambio de información (Tan et al., 2022).

En el estado actual de la técnica, no existen estándares técnicos de interoperabilidad entre protocolos de cadena de bloques, por lo que se recomienda efectuar ejercicios de iteración que pueden acudir a una cadena de gestión complementaria, conectar la información en forma de oráculo dentro del algoritmo o crear conexiones de hardware contratos inteligentes (Janssen et al., 2020; Lu, 2018; Tan et al., 2022). Bajo esta perspectiva, acudir al mecanismo de compra pública pre-comercial, en los términos previstos por Colombia Compra Eficiente, resulta estratégico para entender los términos de referencia de la solución y generar mayor apropiación en esta materia (Colombia Compra Eficiente, 2016; Europe Union, 2021).

La interoperabilidad es fundamental para el crecimiento de la industria blockchain y su ecosistema. Los usuarios necesitan tener la habilidad de hacer transacciones sin tener que estar limitados a una sola red, y así mismo, los desarrolladores deberían tener la capacidad de crear sus Smart Contracts compatibles con otras redes. Por ello, desde el aspecto técnico se han desarrollado conversaciones para consolidar lineamientos técnicos que permitan favorecer el crecimiento del ecosistema, tales como ISO TC307, ISO/IEC JTC1 y ITU-T.


GOBERNANZA
DE LA TECNOLOGÍA
BLOCKCHAIN

La innovación plantea la implementación de un bien, un servicio o un proceso nuevo o mejorado, lo que favorece el avance social y económico. Sin embargo, cuando se trata de un desarrollo lo suficientemente disruptivo, es menester abordar una estrategia de mitigación de riesgos al tratarse de un fenómeno que puede afectar el ejercicio de derechos (Cantero Gamito y Ebers, 2021). En consecuencia, las múltiples partes interesadas encontraron en la gobernanza un mecanismo idóneo para diseñar, desplegar y usar algoritmos con base en reglas y principios acordados en instrumentos de buenas prácticas (Hatfield-Dodds et al., 2007).

En ese sentido, la gobernanza de la tecnología blockchain:

> *"Se refiere a cómo se inicia y gestiona una cadena de bloques. Define las normas y los procedimientos sobre la pertenencia a la red, la gestión de los permisos, la validez de las transacciones, la emisión de nuevos activos y su tokenización, la resolución de conflictos, las actualizaciones del software, los informes reglamentarios y la protección contra los riesgos cibernéticos" (Akgiray, 2019).*

En efecto, el enfoque de gobernanza propone centrar el diseño de la cadena de bloques en un sistema equilibrado que se refleja en principios y el conjunto de buenas prácticas afirmadas por los actores del ecosistema (Allen y Berg, 2020). La gobernanza de la tecnología blockchain atiende a la observación de procesos, dirección, gestión y supervisión de las actividades en un ecosistema de red descentralizado, pero bajo el imperio de unos presupuestos técnicos que respetan estándares de integridad, consenso e incentivos que podrían entrar en conflicto con valores tales como la privacidad y seguridad de la información (Y. Liu et al., 2021). Por tanto, es importante que la adopción de un proyecto en tecnología blockchain atienda primero a un estudio de análisis de impacto y la previsión de una estrategia para determinar si blockchain es la solución tecnológica idónea o si conviene acudir a un sistema centralizado.

HOJA DE RUTA PARA IMPLEMENTAR UN ENFOQUE DE GOBERNANZA DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN

Aunque los estudios sobre la gobernanza de la tecnología blockchain aún están en desarrollo, mientras se despliega y prueba la tecnología, un estudio propuesto por investigadores de la Universidad de New South Wales propone la siguiente hoja de ruta (Y. Liu et al., 2021):

1. Establecer el nivel de descentralización: se trata de definir los requisitos de red para el funcionamiento del sistema y determinar los atributos compatibles con el proyecto. Puede ser una red de blockchain permisionada privada, permisionada pública o pública sin permisos.

2. Definir cuál será la red de la cadena de bloques, y para esto hay 2 opciones. La primera es desplegarse sobre una red ya establecida y esto permite reducir costos utilizando una infraestructura ya creada.

La segunda opción es montar su propia red y establecer cuáles serán los incentivos para lograr el consenso entre las partes interesadas: el funcionamiento de la cadena de bloques exige la participación de múltiples nodos que ocupan roles dentro de la red, por lo que se requiere crear incentivos para que terceros presten capacidad de procesamiento y confirmen las operaciones. Los incentivos pueden darse fuera de la cadena de bloques, de acuerdo con las especificaciones del proyecto.

En cualquier caso, es muy importante conocer las reglas, protocolos, permisos y demás detalles técnicos para tomar la mejor decisión para el proyecto.

3. Crear un proceso que permita favorecer la transparencia: el propósito de blockchain es proveer confianza, así que el diseño del algoritmo se encamina a la toma de decisiones de forma colectiva al interior de la red. La transparencia propone un órgano de decisión en las partes interesadas por consenso y otra mediada en la gobernanza de la plataforma por los desarrolladores, pero en algunos casos es posible determinar que determinados nodos sean validadores.

4. Generar rendición de cuentas por canales institucionales: identificación de los responsables y de la mitigación del abuso de poder de ciertos nodos dentro de la red.

5. Fomentar la ampliación de la gobernanza dentro del ecosistema: expandir la usabilidad de la cadena de bloques, incluso fuera de la plataforma predeterminada, de suerte que se puedan desplegar en una capa de plataforma, aplicaciones o datos estructurados para su análisis.

6. Gestionar el cumplimiento legal y la responsabilidad ética: cumplir con las normas mínimas establecidas en el ordenamiento jurídico para el despliegue y uso de una plataforma basada en blockchain. Igualmente, atender a las normas técnicas y lineamientos éticos para mitigar los riesgos y reducir la incertidumbre.

Se debe agregar, entonces, que aunque es posible identificar un esquema de gobernanza propio de blockchain, en atención a que la infraestructura se compone de capas de otras tecnologías, "[c]ada nueva capa de la pila hereda los protocolos y las reglas de la capa inferior, incluida la gobernanza de las capas inferiores" (Soudan, 2021, p. 6). A modo de ejemplo, las bases de la gobernanza de internet resultan aplicables a la cadena de bloques, ya que elementos como la neutralidad tecnológica y la democratización del acceso tienen incidencia en el intercambio de información que se efectúa con la tecnología descentralizada.

La exposición de este marco de gobernanza blockchain para el Estado busca proporcionar mayor seguridad y confianza en el despliegue e implementación, pero no se restringe a un modelo único. Por el contrario, se presentan las bases para que las entidades públicas cuenten con un marco común y así contribuir en la masificación de la tecnología distribuida en distintos niveles.

De hecho, la tecnología blockchain sigue en desarrollo, razón por la cual el enfoque de política pública sugiere el desarrollo de proyectos piloto focalizados, para así identificar los casos de uso clave y definir un proceso de certificación adecuado con estándares y normas técnicas que se acojan a la interoperabilidad de los servicios ciudadanos digitales (Allessie, David; Sobolewski, Maciej; Vaccari, 2019).

UN PROYECTO DE TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN EL SECTOR PÚBLICO COLOMBIANO

Un proyecto de tecnología blockchain en el sector público exige revisar en detalle los requerimientos del reto público a resolver y la usabilidad que tendría la base de datos distribuida, ya que dependiendo del tipo de proyecto se tendrá que acudir a una cadena de bloques con mayores o menores restricciones, como compensación a cuestiones de política pública vinculadas a la privacidad, la interoperabilidad y la seguridad (Hileman y Rauchs, 2017). Es decir, puede que en algunos proyectos la infraestructura de datos exija mayor cuidado, mientras que en otros la publicidad y la transparencia pueden ser el factor relevante.

Además de la infraestructura, también es importante considerar las aplicaciones con la cuales se puede vincular la cadena de bloques del proyecto, ya que la gobernanza también se extiende al uso de aplicaciones descentralizadas (DApps) y contratos inteligentes que se vinculen a la red. De hecho, también conviene contemplar en el esquema de gobernanza que existe una gestión del ciclo de vida del software, en el que además de la cadena de bloques, se debe considerar lo que concierne a instalación, configuración, almacenamiento y mantenimiento (Tsvetkov y Kostadinov, 2019).

En todo caso, la implementación de tecnología blockchain exige el cumplimiento del principio de legalidad, lo cual indica que las entidades del Estado están obligadas a cumplir lo establecido expresamente en la ley colombiana, y por ello, el modelo de gobernanza de la tecnología blockchain para gobierno está vinculado al cumplimiento normativo propio de la protección de datos personales, la interoperabilidad y la seguridad de la información. En tal sentido, una adecuada estrategia de cumplimiento normativo debe considerar la ubicación del almacenamiento de datos, los nodos que participan en la red, la ubicación de los usuarios y el tipo de cadena de bloques en uso (Holbrook, 2020b).

Para este efecto, la coordinación entre la oficina de tecnologías de la información y los equipos jurídicos será clave para dimensionar el alcance del proyecto e identificar las diferentes aristas en términos regulatorios, para cumplir con los lineamientos normativos en la materia y reducir el riesgo propio de la innovación desde aspectos éticos (Holbrook, 2020b). La doctrina propone que el entorno de gobernanza para el Estado se componga tanto por legislación, como derecho blando, lo que pone de presente la necesidad de atender al ordenamiento jurídico, pero también adoptar un enfoque basado en ética digital (Castaño, 2019; Tan et al., 2022).



PROPUESTAS PARA EL USO DE BLOCKCHAIN EN EL SECTOR PÚBLICO COLOMBIANO



DESARROLLAR ESTRATEGIAS PARA IMPULSAR EL TALENTO HUMANO

A la hora de hablar de habilidades para la apropiación de tecnologías en las entidades gubernamentales, se pueden considerar muchos enfoques. Desde habilidades que requiere la sociedad en su conjunto de cara a la transformación digital, hasta los roles que deben cumplir los líderes de gobierno. Con base en la revisión, en este apartado se proponen tres grupos de habilidades que favorecen la apropiación de la tecnología blockchain por parte de los servidores públicos.

Con base en el marco para las habilidades digitales en el sector público, construido por la OCDE (Ubaldi, Wely, y Chauvet, 2021) y que cuenta con tres pilares, se encuentran las habilidades que se requieren en los diferentes actores para fomentar la transformación digital en el sector público. Dentro de este pilar se destacan dos categorías de habilidades que en conjunto van a facilitar a los servidores públicos adaptarse al uso de tecnologías emergentes, en este caso blockchain.

El primer grupo de habilidades se conforma por las requeridas por los usuarios de un Gobierno Digital (Digital Government user skills), dirigidas principalmente a los servidores públicos. Este grupo de habilidades, cuando van de la mano de los conocimientos técnicos sobre blockchain, facilitan la rápida adaptación al trabajo con nuevas tecnologías por parte de los equipos.

La OCDE sugiere las siguientes áreas básicas:

- Reconocer el potencial de las tecnologías emergentes en el sector público.

Para los servidores públicos, de la mano del conocimiento técnico en tecnologías emergentes, es fundamental adquirir la habilidad de reconocer la mejor forma de usar las tecnologías emergentes para resolver retos públicos. Esta habilidad se desarrolla de la mano de elementos como la creatividad, la 'insurgencia' (en el sentido de proponer formas diferentes de hacer las cosas) y la narración/storytelling (habilidades para la Innovación Pública). Consiste en la facilidad de reconocer nuevas formas de generar valor usando la tecnología blockchain como medio y no como fin.

¿Cómo reconocer esta habilidad en un servidor público? Con base en el documento de la OCDE (Ubaldi, Welby y Chauvet, 2021):

- Es capaz de identificar ejemplos de transformación digital en el sector público.
- Es capaz de evaluar el statu quo actual e identificar oportunidades de aplicación de tecnología blockchain para generar transformaciones.
- Puede identificar cómo emplear la tecnología blockchain con un enfoque estratégico amplio dentro de su entidad

Entender a los usuarios y sus necesidades:

Para la apropiación adecuada de la tecnología blockchain fuera de las entidades es clave entender los contextos y problemáticas de forma amplia, tomando puntos de vista que aporten valor tanto a los ciudadanos como a los servidores públicos. Saber reconocer las necesidades de los usuarios es una habilidad transversal a la aplicación de cualquier tecnología emergente.

Las formas en las que se manifiesta esta habilidad, de acuerdo con la OCDE (Ubaldi, Welby, & Chauvet, 2021), son:

- Identificación de usuarios afectados y necesidades que pueden satisfacerse con la aplicación de blockchain.
- Identificación de actores del sector público que se relacionan con su trabajo.
- Identificación de la relación que tiene la tecnología blockchain con los usuarios en su aplicación.
- Reducción de la brecha digital y trabajo en acciones para reducirla en la sociedad mediante tecnologías emergentes.

Colaborar abiertamente para la iteración

El trabajo con tecnologías emergentes, en especial con blockchain, requiere trabajo fora colaborativo y mancomunado para sacar adelante los proyectos. Así como es importante involucrar al usuario desde el inicio de los proyectos que implementen blockchain, también se recomienda construir redes de conocimiento o asociarse a alguna existente. De igual manera es de gran valor que de entrada los servidores públicos reconozcan los beneficios de trabajar con software de código abierto, que se conozcan las fuentes para obtener estándares, patrones y herramientas que faciliten el trabajo con blockchain. En los proyectos de aplicación de blockchain es necesario aprender a trabajar ágil e iterativamente para desarrollar soluciones de alto valor.

De acuerdo con la OCDE (Ubaldi, Welby y Chauvet, 2021), estas habilidades se reconocen así en los servidores públicos:

- Se identifican los beneficios de trabajar de forma abierta, utilizando software de código abierto.
- Puede implementar enfoques de trabajo colaborativo con los usuarios para desarrollar proyectos blockchain.

- Entiende el valor de los equipos multidisciplinarios y busca involucrar a todas las áreas para tener una perspectiva ampliada a la hora de aplicar blockchain en la entidad.
- Conoce y comparte los beneficios de desarrollar soluciones de forma iterativa: prueba rápido, experimenta, prototipa y aprende, para repetir el ciclo.
- Entiende de código abierto y los procesos basados en comunidad que lo sostienen.
- Conoce repositorios de recursos clave para el uso de blockchain

Uso confiable de datos y tecnología blockchain:

Al hacer uso de las tecnologías emergentes, se tiene como requisito tener buenas prácticas de seguridad y privacidad. Sin embargo, es una habilidad que se debe fortalecer, ya que el uso confiable de la información va más allá de las prácticas cuidadosas y el manejo de políticas para proteger la información. Utilizar tecnología blockchain requiere que el servidor público actúe de forma ética y responsable al momento de interactuar con la información que registra manualmente en la red. Y esto implica conocer los requerimientos que tiene la implementación de blockchain y los efectos que esta tecnología en los derechos de los usuarios y la protección de sus datos.

¿Cómo reconocer que se hace un uso confiable de los datos y la información? Según la OCDE (Ubaldi, Welby, & Chauvet, 2021), cuando:

- Se entienden las responsabilidades relacionadas con la seguridad de la información y manejo de datos, en la implementación de blockchain.
- Se conocen las políticas de seguridad requeridas al usar blockchain.
- Se entienden los requisitos legales para el manejo de información priorizando la privacidad de los usuarios.
- Se conocen y consideran las dimensiones éticas asociadas al uso de tecnología blockchain.
- Se reconocen e implementan buenas prácticas en el manejo de la información y el uso de tecnología blockchain.

Gobierno basado en datos:

Implica entender y valorar los beneficios y oportunidades de manejar datos abiertos en el gobierno en términos de transparencia y como fuente de valor público. Es clave que los servidores públicos tengan una comprensión básica de los estándares relacionados con arquitectura de datos para aplicar tecnologías emergentes. Adicionalmente, se recomienda fortalecer el conocimiento en el ciclo de valor y la existencia de los estándares para manejar los datos, ya que esto puede aportar a construir una cultura de datos que mejore la calidad y disponibilidad de los datos en las entidades, lo que es beneficioso a la hora de aplicar blockchain. También se recomienda conocer la infraestructura nacional para los datos: reconocer las fuentes, los estándares y las plataformas.

Según la OCDE (Ubaldi, Welby y Chauvet, 2021), el servidor público debería:

- Conocer de los individuos y organizaciones responsables de generar y almacenar los datos relacionados con su área a nivel nacional.
- Conoce los acuerdos gubernamentales para acceder y compartir datos.
- Aprender sobre el uso confiable de los datos para responder a las responsabilidades legales y éticas en el manejo de los datos a la hora de aplicar blockchain.
- Reconocer oportunidades para la interoperabilidad en el diseño de servicios aplicando tecnología blockchain.

Habilidades para la Innovación Pública:

Finalmente, se incluyen también algunas de las habilidades para la Innovación Pública enmarcadas en el documento elaborado por el Observatorio de Innovación en el Sector Público: Core Skills for Public Sector Innovation (OPSI - OECD, 2017), que preparan al servidor público para afrontar los retos que implica apropiar la tecnología blockchain e identificar las oportunidades para generar innovación a través de su uso.

- Iteración: es la capacidad de desarrollar proyectos de manera progresiva generando innovación incremental; requiere probar rápido, tomar riesgos sin sacrificar recursos, usar prototipos para probar hipótesis de funcionamiento y realizar comprobaciones.
- Curiosidad y pensamiento creativo: se trata de poner en función de la innovación estas dos habilidades innatas en el ser humano. Explorar nuevas aplicaciones de blockchain, adaptarse a las necesidades o posibilidades y estar en constante aprendizaje de los temas relacionados con tecnologías emergentes para llevar a cabo nuevas ideas a partir de los nuevos conocimientos.
- Insurgencia: consiste en proponer formas diferentes de hacer las cosas. Experimentar cosas que podrían fallar, trabajar en conjunto con nuevos aliados para sacar adelante los proyectos blockchain, desafiando la manera en la que tradicionalmente se han hecho las cosas. La insurgencia va muy de la mano de implementar tecnologías nuevas en el sector público porque se enfrenta a cambiar lo tradicional buscando generar valor.

Los tres grupos de habilidades presentados son una propuesta de aproximación para que los servidores públicos se enfrenten con mayor preparación a la implementación de tecnología blockchain en sus procesos, proyectos o nuevos servicios. No son las únicas capacidades involucradas en la apropiación de tecnologías y no son estáticas, con el tiempo se deben fortalecer porque cambian, por lo tanto, la base de las habilidades para aplicar blockchain es la adaptabilidad.



CONDICIONES HABILITANTES PARA APROPIAR LA TECNOLOGÍA

De acuerdo con un informe emitido por la firma Stadista, se contempla que el gasto mundial en soluciones de cadena de bloques aumente de 4500 millones de dólares en 2020 a un estimado de 19000 millones de dólares para 2024, gracias a la visión que han dado los líderes empresariales para la destinación de presupuesto al denominado registro distribuido (Stadista, 2021). Si bien se identifica comúnmente que la cadena de bloques tiene importante participación en criptoactivos, lo cierto es que en inversión el principal caso de uso de blockchain en 2021 se dio sobre pagos y liquidaciones transfronterizas, lo que demuestra el potencial de uso en aspectos ligados a rastrear, administrar y hacer seguimiento a información de operaciones o autenticidad de producto (IDC, 2021).

No se han presentado estudios sobre la inmersión de la tecnología blockchain en el Gobierno Digital, pero se contempla que sea un asunto de interés para facilitar el acceso a la información pública y fomentar las interacciones dentro del contexto de servicios gubernamentales basados en la apertura y la transparencia. De hecho, entre 2020 y 2022, el país presentó importantes avances reglamentarios en compras públicas para la innovación, lo que hace hincapié en la importancia de fortalecer el desarrollo del ecosistema GovTech en Colombia y mejorar la relación Government-to-Citizen (G2C),

Government-to-Business (G2B) y Government-to-Government (G2G).

Al final, el diferenciador más importante en la implementación de blockchain en el sector público se encuentra en la interoperabilidad, ya que es ideal que los servicios ciudadanos implementados se integren a los procesos y sistemas existentes en la Administración pública. Así mismo, la gestión de los datos, el usuario y el sistema exige atención en el desarrollo de una plataforma de cadena de bloques que cumpla con los parámetros de seguridad y fiabilidad (Uhlig y Urbach, 2021).

Así las cosas, lo primero que requiere el ecosistema de innovación pública es tener un proceso de apropiación de la tecnología para comprender su alcance y usabilidad en el sector público. Por ello, se sugiere aplicar una metodología iterativa que permita identificar oportunidades de uso y la documentación del aprendizaje mediante ejercicio o pruebas piloto.

El desarrollo de pequeños proyectos con escalabilidad permite conocer el estado de apropiación de una entidad pública y determinar cuáles son los recursos tanto técnicos como financieros para dar vialidad a la iniciativa. Igualmente, permite involucrar a diversos actores y generar un ambiente de transferencia de conocimiento con recomendaciones prácticas.

De acuerdo con ello, algunos países como Australia, India, Alemania, Italia, Chipre, Estados Unidos, y zonas como la Unión Europea, abrieron espacios a conversaciones de política pública en tecnología blockchain, pero solamente cuando el ecosistema estaba lo suficientemente desarrollado y el número de prototipos o productos mínimos viables fue lo suficientemente significativo.

INDIA

Denominación de la estrategia	Estrategia Nacional sobre blockchain. National Strategy on Blockchain
Acceso	https://bit.ly/37ZHK6H
Aspectos fundamentales	El instrumento desarrolla el concepto de blockchain, su clasificación, oportunidades, retos, define una hoja de ruta en tecnología blockchain, presenta el escenario internacional y nacional, sugiere consultas públicas por industrias y presenta una estrategia que propende adoptar blockchain como servicio con aspectos regulatorios, desarrollo de la tecnología con incentivos e integración en servicios ciudadanos digitales.
Clase de instrumento	Documento de estrategia que proporciona la orientación y el apoyo necesarios para hacer realidad la visión y crear un ecosistema a nivel nacional para la creación de la Plataforma Nacional de blockchain y el desarrollo de aplicaciones pertinentes que utilicen esta plataforma en diversos ámbitos.

AUSTRALIA

Denominación de la estrategia	Hoja de ruta nacional de la cadena de bloques. National blockchain roadmap.
Acceso	https://bit.ly/3ukQFqK
Aspectos fundamentales	El Gobierno australiano se propone un camino para apoyar la industria y aprovechar el potencial del sector para fomentar la innovación y la colaboración en torno a blockchain. La hoja de ruta define un entorno regulatorio propicio para la innovación y el crecimiento, con un enfoque en identidad, intimidad, seguridad y gobernanza de los datos y el involucramiento del componente institucional en aspectos delicados como la hacienda pública. Así mismo, presenta una estrategia para establecer un nuevo comité técnico de ISO para temas de estándares de blockchain, incluida la interoperabilidad, la terminología, la privacidad, la seguridad y la auditoría. En segundo lugar, aborda la importancia en la industria y el Gobierno para cubrir los requisitos de habilidades clave en esta tecnología. Propone mejoras en apropiación y fomento de la investigación, el desarrollo y la innovación. En tercer lugar, reviste importancia la inversión y colaboración internacional, ya que dicho país propende por liderar estándares internacionales, operaciones de bonos y dinero programable inteligente, al tiempo que realiza pruebas en los sectores de energía, agricultura y público. Finalmente, se hace énfasis en las oportunidades sectoriales, con las cuales la tecnología puede tener mayor impacto en cadenas de suministro agrícolas, credenciales de confianza y fomento de la competencia en el sector financiero.
Clase de instrumento	Instrumento de política pública emitido por el Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos.

ALEMANIA

Denominación de la estrategia	Estrategia blockchain del Gobierno Federal. Blockchain Strategy of the Federal Government.
Acceso	https://bit.ly/3urbf8N

Aspectos fundamentales	El Gobierno alemán busca convertirse en una base para el desarrollo de aplicaciones blockchain y ser un mercado atractivo para la inversión. En esa medida, el documento propone crear un marco normativo orientado a la inversión y el crecimiento, en el que los procesos de mercado funcionen sin intervenciones estatales y se salvaguarde el principio de sostenibilidad. La política alemana pretende asegurar la estabilidad y estimular las innovaciones: blockchain en el sector financiero, mediante la regulación de la oferta pública de ciertas criptotokens; iterar una conexión basada en blockchain de las instalaciones energéticas a una base de datos pública; crear condiciones de condiciones marco claras y fiables para la inversión; probar identidades digitales basadas en blockchain y evaluar otras aplicaciones adecuadas; y apropiar con divulgación de información. De acuerdo con la hoja de ruta, cada uno de los puntos será explorado con mecanismos de exploración de la tecnología que permitan identificar un claro valor añadido en comparación con las otras soluciones existentes. Al respecto, se identifica dentro de las actividades de línea de acción el desarrollo de proyectos por cada caso concreto y la creación de laboratorios de innovación o un centro de competencia para aplicaciones de blockchain en la Administración pública.
Clase de instrumento	El Gobierno alemán creó un instrumento que se acerca a la experiencia colombiana, en el sentido de que desarrolla proyectos para iterar con la tecnología y crea condiciones habilitantes para atraer la inversión y ofrecer seguridad jurídica sobre la viabilidad de proyectos en tecnología blockchain.

ITALIA

Denominación de la estrategia	Propuestas para la estrategia italiana sobre tecnologías de libro mayor compartido y blockchain. Proposte per la Strategia italiana in materia di tecnologie basate su registri condivisi e blockchain.
Acceso	https://bit.ly/3DbbNE4
Aspectos fundamentales	El documento presenta un análisis general de la tecnología blockchain y estudia los indicadores de Italia con relación a la industria. Así mismo, dedica una sección a reseñar la importancia de la colaboración internacional en Europa y los incentivos para generar inversiones públicas destinadas a fomentar el uso y desarrollo de tecnologías blockchain. Luego, realiza algunas recomendaciones sobre la necesidad de adecuar la infraestructura, crear jornada de sensibilización, aplicación de la legislación contra el blanqueo de capitales en criptoactivos con una línea

	de acción unitaria para una cultura y sensibilización en los temas de DLT y blockchain. Igualmente, se proponen actividades de investigación como en las de divulgación y formación en asociaciones público-privadas, coordinación nacional. La estrategia contempla recomendaciones generales para la aplicación de los registros distribuidos en un formato de gobernanza con modelos descentralizados, con los cuales se cuente con gestión adecuada del ciclo de vida de los datos, seguridad jurídica y regulación efectiva y el contexto específico de aplicación.
Clase de instrumento	Es un documento para comentarios que propone una política pública integral que crea una Red Nacional de blockchain, que considera estándares, protocolos y modelos de gobernanza.

CYPRUS

Denominación de la estrategia	Estrategia Nacional de Cyprus. National strategy for Cyprus.
Acceso	https://bit.ly/3NjajMr
Aspectos fundamentales	El documento analiza los retos de la tecnología blockchain en el mercado y propone líneas de priorización con acciones. La primera línea busca preparar un marco legislativo propicio; la segunda, potenciar la aplicación de la tecnología por parte del gobierno y el sector privado; y la tercera, promover la DLT en el sector financiero.
Clase de instrumento	Una estrategia general que demarca una hoja de ruta a nivel general.

ESTADOS UNIDOS

Denominación de la estrategia	Orden ejecutiva sobre la garantía del desarrollo responsable de los activos digitales. Executive Order on Ensuring Responsible Development of Digital Assets.
Acceso	https://bit.ly/3tAmIUo
Aspectos fundamentales	El presidente de los Estados Unidos emite una orden ejecutiva para proteger a consumidores, inversionistas y empresas que emplean activos digitales basados en tecnología blockchain y define un proceso interinstitucional para esfuerzos de investigación y desarrollo en las

	posibles evaluar opciones de diseño e implementación de una moneda digital soberana basada en tecnología distribuida. También dispone de acciones para convocar la elaboración de un informe sobre recomendaciones de políticas, incluidas posibles acciones regulatorias y legislativas, según corresponda, para proteger a los consumidores, inversores y empresas de los Estados Unidos, y apoyar la expansión del acceso a servicios financieros seguros y asequibles. Los órganos de ciencia y tecnología del país adquieren la obligación de presentar una evaluación técnica de la infraestructura tecnológica, la capacidad y la experiencia que serían necesarias en las agencias relevantes para facilitar y apoyar la introducción de un sistema blockchain para las finanzas estatales. Igualmente, deben emitir otro informe sobre un análisis de los impactos que estas tecnologías tienen en el medio ambiente.
Clase de instrumento	Orden ejecutiva que ordena evaluar el uso de tecnología blockchain en cuestiones financieras y climáticas.





IDENTIFICAR OPORTUNIDADES DE USO Y ESTRATEGIAS DE USO

El primer paso para desarrollar proyectos de blockchain es definir la estrategia en la que se definan los objetivos que se requieren lograr a través del uso de esta tecnología aplicada a los procesos, trámites, servicios o procedimientos de la entidad.

Es relevante que la estrategia de uso de blockchain esté completamente alineada con el Marco de Transformación Digital y las iniciativas, procesos y áreas de la organización priorizadas, así mismo, que estén articuladas con el Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (PETI) (Colombia, 2020).

Ahora bien, parte de entender la tecnología es identificar si la cadena de bloques es conveniente para emprender un proyecto o si conviene explorar otro tipo de tecnología. Para ello el Foro Económico Mundial propone un árbol de decisiones que permite realizar un análisis inicial rápido conforme al reto público identificado, el cual se ilustra a continuación (World Economic Forum, 2018):

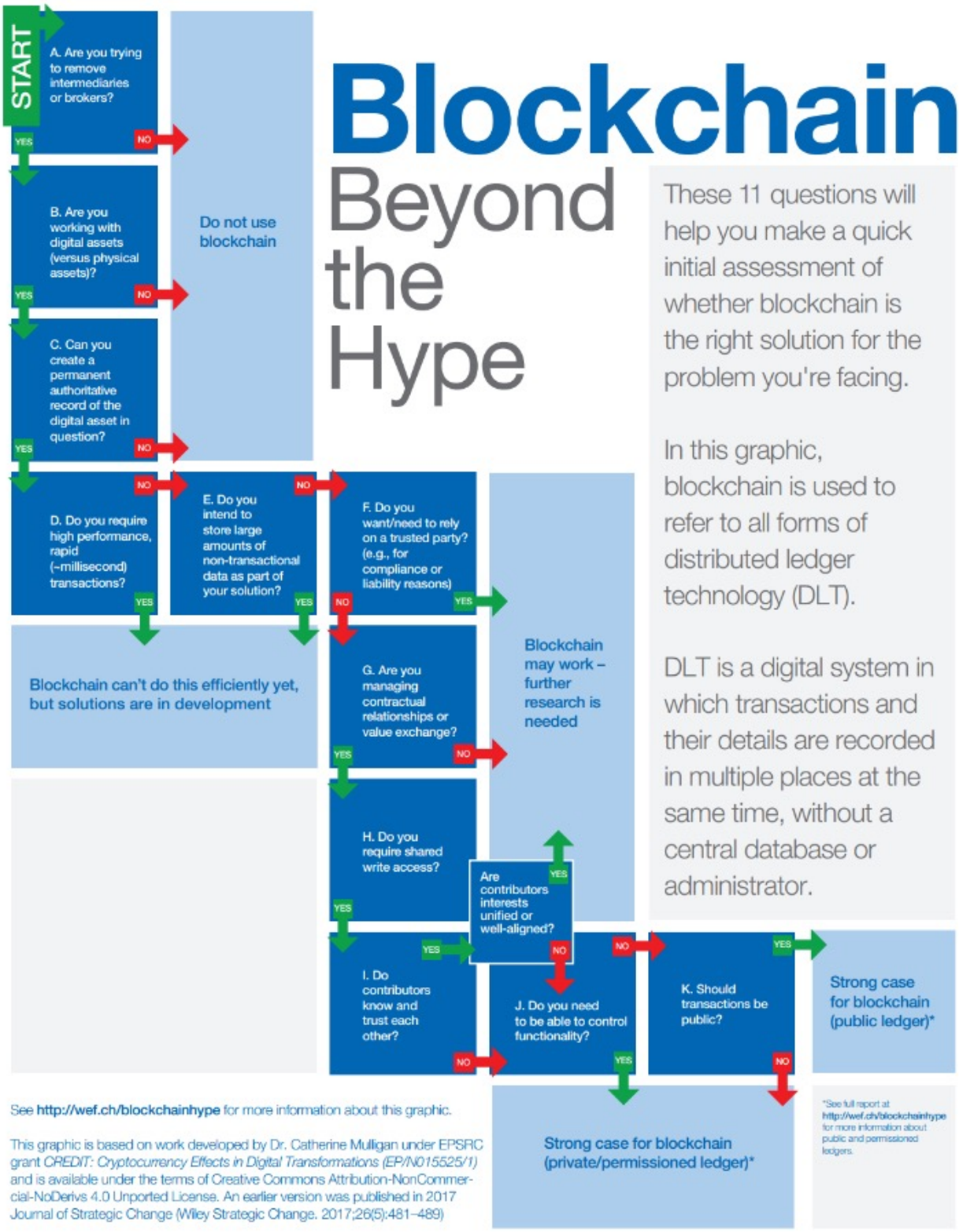


Figura 10 (Mulligan et al., 2018)

La matriz propone que, dado que la tecnología blockchain puede estar sobrevalorada para el desarrollo de algunos procesos, se realice una lista de verificación con énfasis en el servicio público, mas no en una solución concreta con alcance limitado. De ahí que el enfoque sugerido se dé sobre la reducción de intermediarios, la tokenización de activos, la creación de registros permanentes y el rápido procesamiento de la información.

De acuerdo con lo anterior, la aplicación de la tecnología blockchain en el Estado atiende a la denominada tercera generación de cadena de bloques, en la cual se acude a esta tecnología para la prestación de servicios de forma descentralizada. Por tanto, conviene diseñar un esquema de gobernanza y ajustar la aplicación a la personalización de los servicios de gobierno, en aprovechamiento de las características de trazabilidad y participación entre pares dentro de la red (Caballero Martínez, 2019b; Swan, 2015).

Sin embargo, la implementación de blockchain debe implicar una propuesta de valor y servicios, de acuerdo con las necesidades de la entidad y el diseño centrado en el usuario. En este caso, hay que considerar el componente de incidencia política y de participación ciudadana, en tanto que una cadena de bloques puede democratizar la participación o aumentar los riesgos frente a la exposición de la información en un determinado proceso (Swan, 2015).

Los proyectos de cadena de bloques en el Estado tienen una suerte de convergencia en temáticas propias, en las que se resaltan las identidades seguras, los contratos inteligentes y la gestión de activos, que son elementos que exigen la existencia de un intermediario para certificar que la información que suministra una persona es confiable y coincide con los registros de gobierno.

IDENTIFIQUE LOS CASOS DE USO DE LAS TECNOLOGÍAS EMERGENTES

Identifique y priorice los procesos, procedimientos, servicios o trámites en los cuales es factible el uso de blockchain. Para el efecto, en primer lugar, se sugiere diseñar el servicio digital de acuerdo con la Guía de diseño de servicios digitales que podrá encontrarla en el Kit de Transformación Digital para el Estado ubicado en gobiernodigital.mintic.gov.co.

VERIFIQUE LA VIABILIDAD

La viabilidad de un proyecto de blockchain depende de varios factores, entre otros, de los componentes jurídicos, técnicos y de aplicación de principios para blockchain.

La Ley 1955 del 2019, Plan Nacional de Desarrollo, define los lineamientos generales habilitadores para el uso de las tecnologías emergentes en proyectos de transformación digital y cuarta revolución industrial, para el efecto, se encuentra priorizada el uso de tecnologías emergentes de la cuarta revolución industrial que faciliten la prestación de servicios del Estado a través de nuevos modelos incluyendo, pero no limitado a, tecnologías de desintermediación, DLT (Distributed Ledger Technology / Blockchain), análisis masivo de datos (big data), inteligencia artificial (AI), internet de las cosas (IoT), robótica y similares.

Además, es relevante verificar las necesidades de interoperabilidad, la existencia del consentimiento de los usuarios para tratar sus datos personales a través de aplicaciones blockchain y, finalmente, establecer el debido tratamiento de los datos conforme los términos y condiciones específicos del proyecto.

ESTABLEZCA LOS REQUISITOS PREVIOS

Los requisitos previos para la implementación de aplicaciones de blockchain parten de la definición del proyecto, la identificación de requisitos previos y necesarios antes de la contratación de una solución tecnológica particular. Para el efecto, se sugiere revisar el esquema para contratar proyectos de desarrollo de sistemas de información del Ministerio TIC, el cual contempla diversos mecanismos para evaluar el proyecto a desarrollar y que se encuentra en el siguiente enlace: https://www.mintic.gov.co/gestion-ti/Gestion-IT4+/Sistemas-de-Informacion/

ESTABLEZCA EL MARCO DE GOBIERNO

Definido el marco de gobierno del proyecto de blockchain, en especial, es importante definir quiénes son los responsables de tomar decisiones de diseño. Para el efecto involucre a los responsables de las siguientes actividades:

1. Seguridad digital
2. Seguridad de la información
3. Cumplimiento de protección de datos personales
4. Gestión documental
5. Tecnologías de la información y las comunicaciones
6. Responsable del proceso, procedimiento, trámite o servicio

DEFINA LA ESTRATEGIA DE APROPIACIÓN

Uno de los puntos ciegos de los proyectos de la transformación digital con tecnologías emergentes, como blockchain, es la falta de apropiación y cultura del cambio en las personas encargadas de la gestión de las plataformas tecnológicas y en los beneficiarios de la misma.

El Ministerio TIC cuenta una guía completa que describe cómo desarrollar un proyecto de transformación digital y cómo se debe apropiar de forma que los responsables e involucrados encuentren la utilidad y el beneficio de la innovación en su gestión.

Todo proyecto en el que se haga uso de TIC debe contar con una estrategia específica de conocimiento, uso y apropiación, de manera que la entidad desarrolle acciones concretas para generar capacidades digitales en ciudadanos, usuarios internos y externos y grupos de interés relacionados con el proyecto. De igual manera, se debe hacer seguimiento, medición al nivel de acceso, uso de plataformas y herramientas tecnológicas, con el fin de determinar su nivel de uso, impacto y aprovechamiento por parte de los usuarios.

Utilizar los siguientes instrumentos, contenidos en el Manual de Gobierno Digital, le permitirán construir la estrategia de conocimiento, uso y apropiación, así como aprovechar al máximo los medios sociales para comunicarse con los usuarios

En el diagrama a continuación se dan unas líneas guía a considerar como parte del proyecto de transformación:

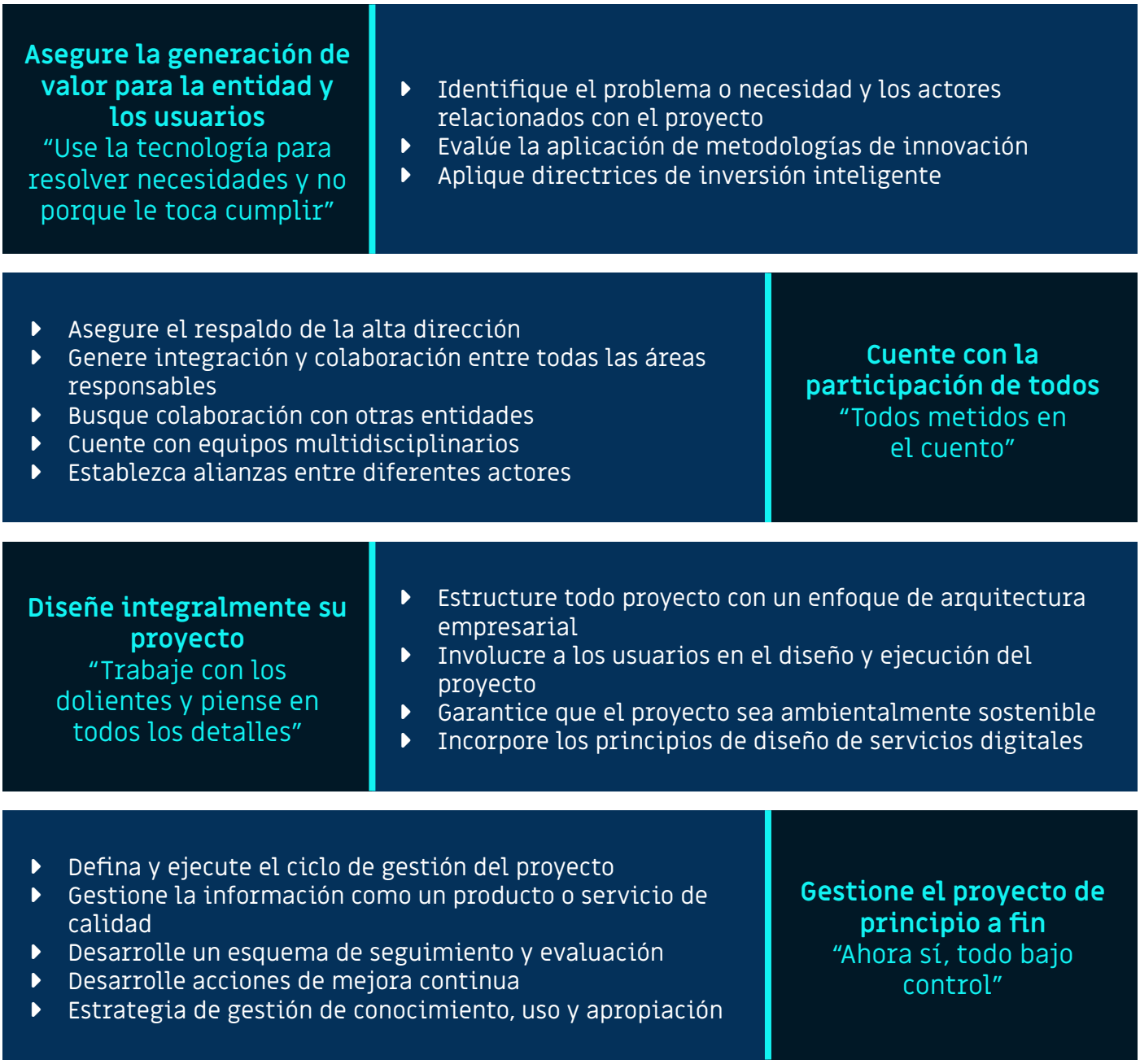


Figura 11 – Lineamientos a cumplir en los proyectos de Gobierno Digital en entidades públicas
Fuente: Manual de Gobierno Digital, MinTIC Colombia

Finalmente, es necesario comprender que todo proceso nuevo que genera cambios, requiriendo que el paso a paso en el desarrollo e implementación sea muy claro para que conformar el equipo adecuado, y que éste comprenda adecuadamente las razones y propósitos de la transformación. Así mismo, es necesario planificar adecuadamente la gestión del cambio, para que los cambios se asimilen en la oportunidad debida y no sean intempestivos.

INTEROPERABILIDAD

Uno de los aspectos más mencionados a lo largo de esta guía ha sido la interoperabilidad. Sin lugar a duda constituye un aspecto fundamental para el desarrollo de infraestructuras blockchain intragubernamentales, interinstitucionales e incluso internacionales.

La tecnología blockchain, por su propia naturaleza, se basa en interacciones entre pares en torno a registros distribuidos que son compartidos. Esto hace que la transformación de un enfoque aislado y fragmentado a la integración de la cadena de valor de un extremo a otro sea más alcanzable, pero también significa que la importancia de la interoperabilidad es imperativa.

En los términos más simples, la interoperabilidad exitosa permite al usuario confiar en "sé que lo que veo, es lo que tú ves". Este módulo del Kit de Herramientas proporciona herramientas para analizar el desafío de hacer que las soluciones blockchain funcionen a la perfección en ese sentido y para elegir el enfoque de interoperabilidad correcto.

Más información, por favor visitar:
http://widgets.weforum.org/Blockchain-toolkit/interoperability

ESTRUCTURA: PÚBLICA / PRIVADA

Una de las consideraciones que debe gestionarse es qué modelos de permisos se requieren para el proyecto. Una blockchain pública, como la de Bitcoin, permite a cualquier persona en internet leer o escribir en el Registro Compartido (cumpliendo ciertos requisitos), mientras que una cadena de bloques administrada por un consorcio o alianza, por ejemplo, podría restringir el acceso sólo a organizaciones asociadas.

En última instancia, la decisión de "público versus privado" afectará la funcionalidad, la seguridad, la compatibilidad con los sistemas de otros socios y, quizás lo más importante, el posicionamiento competitivo de las organizaciones en sus proyectos de cadena de suministro. Sin duda, no hay una única respuesta "correcta". Es vital comprender primero los beneficios y los inconvenientes únicos de cada tipo de cadena y luego elegir la que mejor se adapte a los requisitos de su proyecto en particular.

Para más información, por favor visitar:
http://widgets.weforum.org/blockchain-toolkit/structure-public-private



CASOS DE APLICACIÓN EN COLOMBIA

Para impulsar proyectos de blockchain en el marco de un gobierno abierto se requiere el desarrollo de las capacidades y generar recursos para implementar este tipo de proyectos. A continuación, se enumeran algunas ofertas disponibles en el país para la formación de capacidades en el desarrollo de proyectos de blockchain:

RED UXTIC.CO

A través de la Red UxTIC.co, las universidades se han unido para formar un grupo de trabajo blockchain, con el propósito de incrementar los niveles de adopción y transferencia de conocimientos desde la academia. Dentro de las actividades desarrollados por este grupo, fue la realización de un tour universitario, en el que participaron 12 universidades, para hacer el levantamiento de los proyectos en la academia o en colaboración con el sector privado o público; dentro de los resultados se encontraron más de 20 proyectos realizados por investigadores y alumnos, varios de ellos en alianza con otras universidades o empresas en Colombia o el exterior.

Además, en la red se encuentran comunidades como Token Partner(UxTIC / Token Partner - Cámara de Comercio Blockchain (Bogotá, Colombia) | Meetup, n.d.), quienes han realizado un levantamiento de las empresas que están trabajando en el sector. Lo que observa Token Partner es que las empresas luchan por reclutar talento, y que se requiere fomentar la formación profesional para responder a las necesidades del sector a nivel nacional e internacional.

Para más información sobre el Tour, referirse al enlace:
https://uxtic.co/spip/?-Tour-Universitario-Blockchain-2019-

UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO

Las facultades de Ingeniería, Derecho y de Ciencias Económicas han creado cursos o módulos dedicados a blockchain, contratos inteligentes y criptoactivos entre otros. La primera universidad en dictar una asignatura blockchain en la carrera de Ingeniería de sistemas fue la Universidad Jorge Tadeo Lozano, quien ofrece esta temática desde segundo semestre del 2018. Desde esta asignatura, se han realizado clases abiertas al público en general interesado en el tema, con el objeto de involucrar a los ponentes que hacen parte de las diferentes comunidades blockchain.

SENA INNOVA

SENA Innova - Productividad para las empresas es una convocatoria que desde el 2020 apoya el desarrollo de aplicaciones para empresas. En la convocatoria se tiene la posibilidad de presentar dos tipos de proyectos: para renovar la oferta de las empresas a través del desarrollo de nuevos productos o servicios o la sofisticación de los existentes; y para mejorar procesos administrativos, de producción o comercialización, con el fin de llevar al cliente el producto o servicio a tiempo, sin sobrecostos y con mejor calidad.

Con los recursos de la convocatoria se pueden cofinanciar materiales, personal técnico, servicios tecnológicos y arrendamiento de equipos, entre otros gastos.

Más información:
https://www.sena.edu.co/es-co/Empresarios/Paginas/SENA%20INNOVA%202020/Nuestro-Proceso.aspx

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA

Esta institución universitaria ofrece un diplomado denominado Blockchain, fundamentos de una tecnología disruptiva. El objetivo es conocer el funcionamiento, el marco legal y la tecnología en el que se encuentra inmerso esta tecnología, así como también su aplicación y uso estratégico.

El enlace a este diplomado se encuentra aquí:
https://www.areandina.edu.co/es/content/curso-en-Blockchain-fundamentos-de-una-tecnologia-disruptiva

CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ

Ofrece un seminario virtual facilita una aproximación guiada a estas nuevas tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial C4RI, sus implicaciones y recomendaciones para su comprensión y uso.

BOGOTÁ APRENDE TIC

La Alcaldía de Bogotá ha lanzado un programa comprehensivo de formación de capacidades TIC 4.0. Este contenido virtual ofrecerá de forma fácil el significado de blockchain, sus ventajas y desventajas, las áreas en las que ejerce con mayor fuerza, la entrada en el mercado financiero, el uso del Bitcoin y los impactos en los procesos de trasformación en las empresas del ámbito digital (Contenidos Virtuales Bogotá Aprende TIC, n.d.).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Esta universidad ha desarrollado varios cursos que se enuncian a continuación:

- **Tecnología blockchain y aspectos económicos**
  El curso busca generar en los participantes entendimiento y conocimientos sólidos sobre cómo funciona blockchain, bitcoin, Ethereum, desde sus fundamentos económicos hasta sus bases tecnológicas (Sede Bogotá | Universidad Nacional de Colombia: Curso: Tecnología Blockchain y Aspectos Económicos, n.d.).

- **Blockchain – Creación de contratos inteligentes**
  Por medio de conferencias magistrales con participación itinerante, talleres y actividades prácticas se da una introducción al desarrollo de aplicaciones sobre blockchain evidenciando el potencial de esta tecnología y presentando posibles aplicaciones en diferentes sectores de la economía (Ingeniería UNAL - Educación Continua, n.d.).

UNIVERSIDAD JAVERIANA

La Universidad Javeriana tiene este curso virtual que se enuncia a continuación:

Fundamentos de la tecnología blockchain
En este curso se explica con detalle qué es el bitcoin y en qué consiste la tecnología blockchain, así como sus principales aplicaciones y los retos para lograr su adopción. La importancia de este curso está en los contenidos que desarrolla, ya que además de poner en contexto las circunstancias bajo las cuales surge la tecnología blockchain y la manera cómo funciona, abre el panorama a las aplicaciones y posibilidades de esta tecnología en usos reales, tanto actuales como futuros(Fundamentos de La Tecnología Blockchain - Educación Continua - Portal Universitario, n.d.).

UNIVERSIDAD EAFIT

La facultad de Economía y Finanzas adelanta el curso de Introducción al blockchain e impacto en el mercado financiero.

UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO

Desde la Facultad de Economía, propone los siguiente cursos:

- **Blockchain: más allá de Bitcoin**
  El desarrollo tecnológico de los métodos de encriptación de datos a través de sistemas no centralizados, conocido como blockchain, ha permitido que el problema de la confianza sea resuelto por fuera de las instituciones tradicionales.

- **Blockchain eX Innovation Center**
  Su misión es acelerar y facilitar la adopción de tecnologías, articulando y creando iniciativas junto al sector público, privado, la academia y la sociedad en general a través de sus pilares de Innovación y transformación empresarial, transformación exponencial y el llamado Journey 4.0 que se basa en los principios de mentalidad digital, entendimiento estratégico de la cuarta revolución industrial - 4RI y cómo tomar acciones para materializar las iniciativas.

LUCHA ANTICORRUPCIÓN UTILIZANDO BLOCKCHAIN

En Colombia se ha realizado un proyecto piloto que reunió a varios actores de nivel internacional y global y es caso de éxito en el marco del Foro Económico Mundial (FEM), en donde la tecnología blockchain se propone como solución efectiva contra corrupción (Wolf et al., 2020) en los procesos de licitación en un trabajo conjunto con la Procuraduría General de la Nación.

En asociación con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Procuraduría General de Colombia, el Foro Económico Mundial ha liderado un equipo de múltiples partes interesadas para investigar, diseñar y probar el uso de la tecnología blockchain para procesos gubernamentales susceptibles de corrupción, estableciéndose en el caso de uso de la contratación pública. En la figura adjunta se plantea el enfoque del proyecto, con tres componentes fundamentales:

- Software de PoC (Prueba de Concepto) basado en tecnología blockchain para licitaciones públicas.
- Recomendaciones de índole legal, de políticas y gobernanza.
- Apropiación de la sociedad civil y participación estratégica.

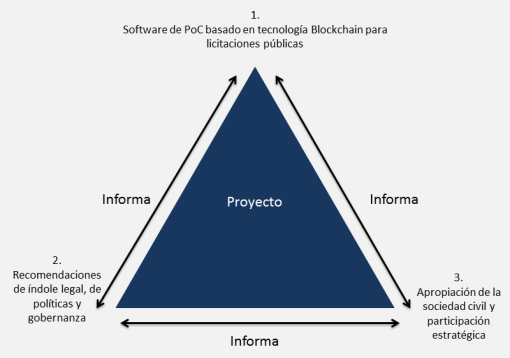


Figura 12 – Enfoque del proyecto (Wolf et al., 2020)
Fuente: Foro Económico Mundial – WEF_Blockchain Transparency Report

El software PoC fue desarrollado durante la segunda mitad de 2019 por un equipo de ingenieros de blockchain dentro del Grupo de Investigación InTIColombia de la Universidad Nacional de Colombia. Se desarrolló para reflejar especificaciones y directrices técnicas, políticas y de participación cívica que fueron cuidadosamente diseñadas conjuntamente por la diversa comunidad de expertos globales de múltiples partes interesadas del proyecto. Al mismo tiempo, el desarrollo técnico del PoC en sí mismo provocó varias preguntas con respecto a las políticas y la participación de la comunidad. Por lo tanto, si bien cada uno de los tres elementos del enfoque del proyecto es un aspecto distinto, los tres se informaron críticamente entre sí (Wolf et al., 2020).

El Proyecto transparencia tiene sus raíces en el desarrollo de una prueba de concepto (PoC) de software para la adquisición del programa de comidas en las escuelas públicas PAE de Colombia. La información de antecedentes sobre el PAE se proporciona en el Informe de investigación complementario. Al estar arraigado en un PoC de software, el proyecto adopta un enfoque de abajo hacia arriba para investigar y descubrir las compensaciones, las posibilidades y las limitaciones de tecnología y gobernanza involucradas con un sistema de contratación pública basado en blockchain cuyos objetivos principales son aumentar la transparencia y la responsabilidad y, por lo tanto, para reducir los casos de corrupción

BLOCKCHAIN TIERRAS

Este proyecto se realizó en su primera versión entre abril y agosto de 2018, liderado por la Universidad Nacional de Colombia con el apoyo de Minciencias, el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y la Agencia Nacional de Tierras (ANT).

El proyecto desarrolló un prototipo que permite el almacenamiento encriptado de documentación y soportes del proceso de adjudicación de predios de restitución, mitigando riesgos de manipulación, ajustes no consensuados u omisión de las resoluciones luego de su emisión por parte de la Agencia, convirtiéndose en la primera entidad del Estado en usar la tecnología blockchain en política pública.

El siguiente diagrama presenta la gobernanza detrás del proceso, muestra el flujo del procedimiento seleccionado y dónde el prototipo tiene impacto. Este inicia en la generación de la Resolución de Adjudicación por parte de la ANT y termina en la notificación de los beneficiarios y la consulta por parte de la Oficina de Registro de Instrumentos Públicos (ORIP).

En los detalles del proyecto se precisa que, en lo relacionado con la identidad digital, el prototipo estableció unas primeras pruebas que permiten conectar el reconocimiento facial, a través de un ID almacenado en blockchain, con los roles y permisos de abogados, administradores y propietarios para registrar o acceder a la información de cada resolución de adjudicación. Es efectivamente una capa de seguridad adicional que permite que funcionarios y ciudadanos se identifiquen de manera confiable, trazable y segura en relación con el procedimiento objeto del prototipo. Esto significa que, con roles muy bien definidos, para cada ámbito de aplicación de un proceso dado (lo cual se programa en el Smart contract) la fricción se reduce y la eficiencia de la interacción crece exponencialmente,

reduciendo costos y ampliando así los recursos disponibles para tener una mejor cobertura de los servicios.

Para el año 2021, se presenta una segunda etapa liderada por la compañía Peersyst Technology y el acompañamiento del Ministerio TIC, en el cual dentro del marco de un piloto de experimentación, se definió una nueva hoja de ruta para el proyecto de registro de predios en Blockchain, el cual se describió en un programa de hitos y fases orientativo para dar a entender que forma y duración para la arquitectura tecnológica y roles:

FASE 1

Desarrollo de la tecnología base: En la primera fase del proyecto, se destinaron todos los esfuerzos en construir la tecnología base para el desarrollo de la solución. Se implementarán todas las pruebas y funciones criptográficas, el manejo de wallets e integración con IPFS para conseguir un sistema que permita registrar de forma indexada todos los registros de predios en la blockchain.

FASE 2

Integración con el Administrador de predios: Se desarrolló el cliente del administrador de predios que permitirá visualizar e interactuar con la tecnología base mediante un frontend adaptado al branding de la ANT y fácilmente manejable y entendible para cualquier administrador.

FASE 3

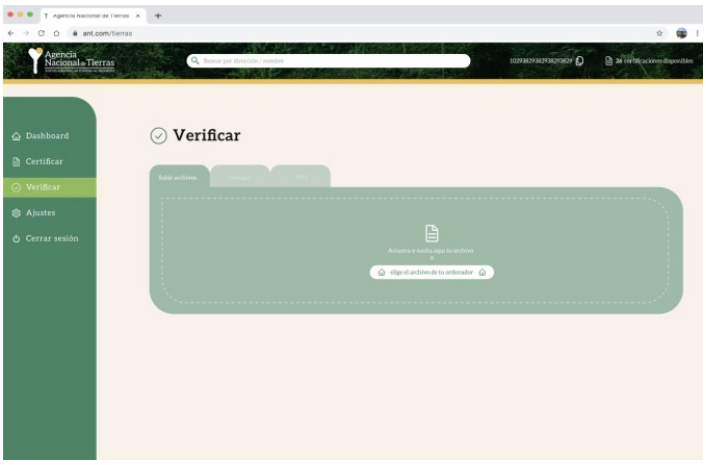
Desarrollo del Explorador de predios: Se desarrolló el cliente web del Explorador de predios que permitirá realizar consultas y visualizar los contenidos mediante el escáner de códigos QR de los certificados.

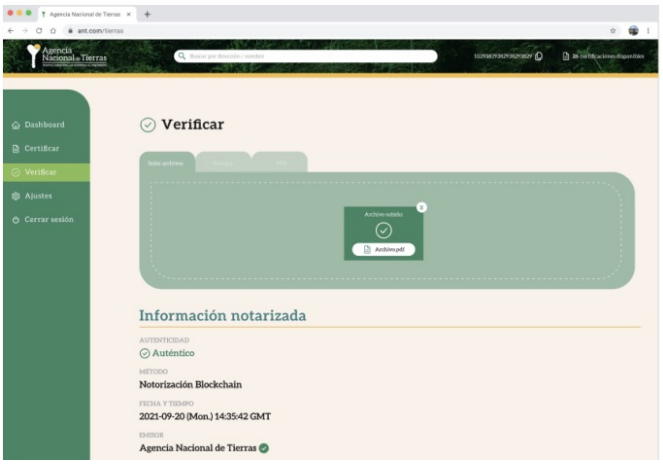
FASE 4

Testing y Quality Assurance: El equipo destinó todos sus esfuerzos en realizar un testing exhaustivo sobre la plataforma para asegurarse que el funcionamiento es el esperado y no haya errores en el código. Se realizó un control de calidad para asegurar que todas las funcionalidades están presentes y debidamente implementadas.

FASE 5

Puesta en producción: Se realizó la puesta en marcha del software en producción con la ANT, dónde se realizará la demo, tutorial y todo el set up necesario así como la transferencia de conocimientos para su uso y mantenimiento individual de la plataforma.





RITA

Las posibles aplicaciones de esta nueva tecnología son amplias y diversas. A continuación, se encuentran una serie de proyectos desarrollados sobre la infraestructura de RITA, la Red de Investigaciones de Tecnología Avanzada de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Uno de los proyectos fue patrocinado por el Ministerio TIC.

Proyectos blockchain soportados por RITA

- **Integridad de Diplomas con blockchain:** proyecto desarrollado con el apoyo del PNUD y MinTIC que permitió establecer los posibles usos de blockchain como medio para mejorar la seguridad en los actos administrativos ante el Estado, incrementando los factores de seguridad en cuanto a integridad de documentos, autenticidad de personas y trazabilidad de operaciones.
- **Sistema de seguimiento al programa de alimentación escolar asegurado con blockchain:** Prototipo ganador en hackaton para establecer mecanismos de control, seguimiento y transparencia entorno al PAE mediante el uso de datos abiertos y blockchain.
- **Sistema Notarial sobre blockchain:** diseño de prototipo de sistema notarial colombiano sobre blockchain para agilizar trámites notariales a través de internet manteniendo altos estándares de seguridad y transparencia mediante el uso de esta tecnología.
- **IoT con blockchain:** apoyo a la generación de artículos de investigación sobre la interacción de blockchain con las ciudades inteligentes y los dispositivos IoT, basados en desarrollos sobre la infraestructura de RITA en la Universidad Distrital.
- **Laboratorio Blockchain:** creación de una red de nodos blockchain para investigación accesible desde las distintas sedes de la Universidad Distrital.
- **Apoyo a estudiantes de pregrado, maestría y doctorado:** orientación, asesoría y capacitación en tecnologías blockchain a la comunidad académica de la Universidad Distrital, fortaleciendo el desarrollo de proyectos de grado en los distintos niveles de formación.

BANCO DE LA REPÚBLICA

La compañía especializada en tecnología de Registros Distribuidos (DLT) R3 realizó (Colombia Fintech, 2019) una alianza con el Banco de la República Colombia para el desarrollo de la plataforma Blockchain Corda, enfocados en su uso para el intercambio de valores.

La compañía establece la necesidad de esta alianza con el ente público, confirmando el potencial de la tecnología blockchain para servicios financieros en Latinoamérica, el cual se basa en un modelo colaborativo de trabajo público-privado que es crucial para acelerar la implementación de plataformas empresariales de DLT, como lo es Corda.

EcoRegistry

EcoRegistry es una iniciativa privada autofinanciada y una plataforma de registro para proyectos de reducción de emisiones. Los usuarios de la plataforma registran el proyecto y pasan por los procesos de validación, verificación y certificación. Esto permite la emisión de créditos que se pueden transferir y retirar como compensaciones de carbono. Los usuarios finales pueden retirar estos créditos por compensación voluntaria de emisiones de GEI, impuesto al carbono o cualquier otra razón. EcoRegistry se basa en una tecnología de libro mayor distribuido (DLT) que permite la transparencia para la contabilidad de las compensaciones de carbono y soporta la seguridad y trazabilidad en la gestión de la información asociada a los proyectos de reducción de emisiones de CO2.

Se buscaba que la plataforma agregara transparencia, seguridad, trazabilidad y una implementación sólida de reglas para proporcionar la responsabilidad y la eficiencia transaccional requerida por los reguladores, inversores y participantes del mercado de créditos de carbono.

La forma en que EcoRegistry implementa DLT es a través de una red permisionada o privada que se ha implementado bajo el ecosistema Blockchain-Multichain de Microsoft Azure. El sistema tiene diferentes usos para esta tecnología. Primero, de la documentación que respalda cada paso de validación, verificación y certificación se obtiene el hash y se guarda como prueba de que la documentación no se modifica durante el ciclo de vida del registro. En segundo lugar, el hash se complementa con una firma digital basada en blockchain del validador, verificador y certificador de acuerdo con cada paso. Cuando finaliza el proceso de certificación, se genera un número independiente de tokens, según la reducción de emisiones. Los tokens llegan a la billetera del propietario del proyecto, donde se pueden transferir a otra persona. Finalmente, durante el proceso de retiro, los tokens se envían a una dirección (Burn Address) donde no se pueden volver a retirar. Se desconoce la clave privada de esta dirección, pero el saldo se puede solicitar en cualquier momento para un proceso contable detallado. Todo el proceso logra la redundancia y validación de la información asociada a los proyectos.

EcoGox

EcoGox es un sistema de certificación, registro, monitoreo, rastreo, transferencia y redención de certificados de energía renovable, el cual puede describir el tipo de fuente de energía consumida por un cliente final. El reconocimiento de los atributos de generación para la emisión de certificados de energía renovable representa una oportunidad para que el cliente final pueda escoger conscientemente del tipo de fuente de la cual desea consumir su energía eléctrica.

A través de los siguientes puntos, los participantes de EcoGox reconocen los principios rectores que aportan claridad y confiabilidad en el ecosistema:

- Precisión

- Unicidad
- Inmutabilidad
- Trazabilidad
- Transparencia
- Implementación tecnológica

Se buscaba una plataforma que permitiera la trazabilidad de cada atributo de generación por fuentes de energía renovable, garantizando la transparencia y confiabilidad en el sistema, cumpliendo así las exigencias del mercado de certificados de energía renovable.

EcoGox implementa tecnologías DLT mediante una red privada o permisionada con un comportamiento similar a la solución blockchain que se encuentra en EcoRegistry. Se utiliza una red basada en Multichain, soportada por Microsoft Azure. Inicialmente toda empresa registrada en la plataforma recibe una billetera que le permitirá realizar transacciones con los Certificados de Energía Renovable (REC). Estas empresas cuentan con diferentes roles de usuario que permiten realizar diferentes procedimientos como transferir, generar o redimir. Un generador puede ingresar un nuevo proyecto anexando la información y documentación necesaria que luego pasará a verificación para asignar una identidad en la red blockchain al proyecto, una vez hecho esto se puede ingresar la generación de dicho proyecto mes a mes, este proceso es verificado y posteriormente se crean tokens equivalentes a la cantidad de energía generada en ese mes en KWH. Estos nuevos tokens o seriales pueden ser transferidos a otros usuarios de la plataforma o se pueden redimir a clientes finales que desean certificar el origen de su consumo de energía eléctrica. Una vez que se redime una cantidad de CERs, estos se envían a una dirección (Burn Address) de la cual no se pueden recuperar, pero se puede acceder a su saldo para contabilidad y auditoría.

CumbIApp (Prototipo)

CumbIApp es una plataforma cashless basada en la blockchain de Ethereum, que busca implementar el pago de ayudas y programas gubernamentales de manera confiable, segura y transparente. Esta plataforma de compras y pagos mediante tokens con características propias permitirá que las empresas o entidades gubernamentales puedan optimizar y controlar las compras que se hacen mediante recursos asignados por programas de ayuda económica como auxilios de alimentación, vivienda, medicamentos, entre otros para el caso del gobierno o sistemas de tokenización propios en el caso de empresas o entidades privadas. CumbIApp se ayuda de la inteligencia artificial y la analítica para mejorar la asignación de los recursos, recomendaciones de compras en la aplicación, entre otros.

La app permite que los recursos o ayudas del Gobierno entregados a los ciudadanos son asignados de manera transparente y segura, además de mantener una trazabilidad sobre el uso de estas, para evitar que sean utilizados de manera incorrecta o mal intencionada.

CumbIApp utiliza la blockchain de Ethereum para implementar contratos inteligentes que garanticen las propiedades de cada token que se emite en la plataforma. Cada usuario registrado en CumbIApp recibe una billetera donde almacena sus tokens, los cuales son divididos en categorías de comercios (transporte, alimentación, medicamentos, vivienda,

entre otros). Cada categoría tiene asociada una lista blanca de usuarios y establecimientos habilitados para usar los tokens, estás listas blancas son respaldadas por Smart Contracts en Ethereum que garantizan que solo se puedan usar los tokens en cierto grupo de productos y territorios para los cuales fueron diseñados en su emisión. Para la emisión de los tokens se utiliza el estándar ERC1155 de Ethereum, este estándar permite emitir tokens fungibles y no fungibles, además de optimizar el costo de las transacciones y habilitar la emisión de múltiples tokens en el mismo Smart Contract.





BIBLIOGRAFÍA

Akgiray, V. (2019). The Potential for Blockchain Technology in Corporate Governance. https://www.oecd-ilibrary.org/governance/the-potential-for-blockchain-technology-in-corporate-governance_ef4eba4c-en

Allen, D. W. E., & Berg, C. (2020). Blockchain Governance: What We Can Learn From the Economics of Corporate Governance. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/SSRN.3519564

Allessie, David; Sobolewski, Maciej; Vaccari, L. (2019). Blockchain for digital government.

Arjun, K. P., Sreenarayanan, N. M., Kumar, K. S., & Viswanathan, R. (2020). Distributed Computing and/or Distributed Database Systems. In Blockchain Technology and Applications (pp. 1–20). Auerbach Publications. https://doi.org/10.1201/9781003081487-1

Attaran, M., & Gunasekaran, A. (2019). Applications of Blockchain Technology in Business. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27798-7

Berryhill, Jamie; Bourgery, Théo; Hanson, A. (2018). Blockchains Unchained: Blockchain Technology and its Use in the Public Sector.

BlockChain Services. (2020). Protocolos de consenso para blockchain; PoW, PoS y más.

Caballero Martínez, J. (2019a). Criptomonedas, blockchain y contratos inteligentes. Universidad Externado de Colombia.

Caballero Martínez, J. (2019b). La convergencia tecnológica al servicio de la lucha anticorrupción. Revista La Propiedad Inmaterial, 28, 139–165. https://doi.org/10.18601/16571959.n28.05

Caballero Martínez, J. (2022). La tecnología blockchain y el notariado público. En: M. Behar-Touchais (Ed.), La blockchain saisie par le droit vol. 2. IRJS éditions.

Cantero Gamito, M., & Ebers, M. (2021). Algorithmic Governance and Governance of Algorithms: An Introduction. In Algorithmic Governance and Governance of Algorithms (pp. 1–22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50559-2_1

Carullo, G. (2021). The Role of Blockchain in the Public Sector: An Overview. In Blockchain, Law and Governance. Springer.

Castaño, D. (2012). Blockchain & Public Law. En: M. Behar-Touchais (Ed.), La blockchain saisie par le droit vol. 2. IRJS éditions

Chomczyk, A. (2020). Regulación de blockchain e identidad digital en América Latina: El futuro de la identidad digital. BID. https://doi.org/10.18235/0002935

Colombia Compra Eficiente. (2016). Recomendaciones para la estructuración de un Proceso de Compra Pública para la Innovación. https://colombiacompra.gov.co/sites/cce_public/files/cce_documentos/20161130_recomendaciones_para_la_estructuracion_de_un_proceso_de_compra_publica_para_la_innovacion.pdf

Colombia Fintech. (2019). El Banco de La República de Colombia explorará intercambio de valores con Blockchain.

Colombia, M. (2020). MinTIC publica el Marco de Transformación Digital para mejorar la relación Estado-ciudadano. Sala de Prensa - Noticias.

Contenidos Virtuales Bogotá aprende TIC. (n.d.).

Cordero Valdavida, M. (2019). Personas y Organizaciones Públicas Núm. 16 zk./2019. Págs. 16-34 or.

Could blockchain have solved the mystery of the romaine lettuce E. coli outbreak? | The Seattle Times. (n.d.).

De Filippi, P., & Wright, A. (2018a). Blockchain and the law : the rule of code.

De Filippi, P., & Wright, A. (2018b). Blockchain and the law: the rule of code. Harvard University Press.

Dener, C., Nii-Aponsah, H., Ghunney, L. E., & Johns, K. D. (2021). GovTech Maturity Index. GovTech Maturity Index. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1765-6

El profundo impacto de la integración de blockchain - IBM Systems Blog para Latinoamérica - Español. (n.d.).

Endemann, B., Wladawsky-Berger, I., LaPointe, C., & Yen, H. (2020). Technology Factsheet: Blockchain. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School.

Europe Union. (2021). European Blockchain Pre-Commercial Procurement. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/european-blockchain-pre-commercial-procurement

Fundamentos de la Tecnología Blockchain - Educación Continua - Portal Universitario. (n.d.).

Hatfield-Dodds, S., Nelson, R., & Cook, D. C. (2007). Adaptive Governance: An Introduction and Implications for Public Policy. https://doi.org/10.22004/AG.ECON.10440

Hileman, G., & Rauchs, M. (2017). 2017 Global Blockchain Benchmarking Study. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/SSRN.3040224

Holbrook, J. (2020a). Architecting enterprise blockchain solutions. Sybex.

Holbrook, J. (2020b). Blockchain Governance, Risk, and Compliance (GRC), Privacy, and Legal Concerns. In J. Holbrook (Ed.), Architecting Enterprise Blockchain Solutions (pp. 257–277). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119557722.CH9

IDC. (2021). Global Spending on Blockchain Solutions Forecast to be Nearly $19 Billion in 2024, According to New IDC Spending Guide. https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS47617821&utm_medium=rss_feed&utm_source=alert&utm_campaign=rss_syndication

Ingeniería UNAL - Educación Continua. (n.d.).

Janssen, M., Weerakkody, V., Ismagilova, E., Sivarajah, U., & Irani, Z. (2020). A framework for analysing blockchain technology adoption: Integrating institutional, market and technical factors. International Journal of Information Management, 50, 302–309. https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2019.08.012

Kumar Jena, A., & Priyambada Dash, S. (2021). Blockchain Technology: Introduction, Applications, Challenges. In S. K. Panda, A. K. Jena, S. K. Swain, & S. C. Satapathy (Eds.), Blockchain Technology: Applications and Challenges (Vol. 203). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69395-4

Lang, V. (2021). Digital fluency: understanding the basics of artificial intelligence, blockchain technology, quantum computing, and their applications for digital transformation. Apress.

Liu, L., & Antonopoulos, N. (2010). From Client-Server to P2P Networking. In Handbook of Peer-to-Peer Networking (pp. 71–89). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-09751-0_3

Liu, Y., Lu, Q., Paik, H.-Y., & Zhu, L. (2021). Defining Blockchain Governance Principles: A Comprehensive Framework. Arxiv. https://doi.org/10.48550/arxiv.2110.13374

Lu, Y. (2018). Blockchain and the related issues: a review of current research topics. Journal of Management Analytics, 5(4), 231–255. https://doi.org/10.1080/23270012.2018.1516523

Lucas, M. (2019). Tecnología blockchain. Un nuevo modelo de acción de gobierno - ACOP. A Fondo.

Lyons, T., Courcelas, L., & Timsit, K. (2019). Thematic Report 1 Blockchain and digital identity BLOCKCHAIN AND DIGITAL IDENTIT Y An initiative of the.

Márquez Solís, S. (2016). Bitcoin guía completa de la moneda del futuro. Ediciones de la U. http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=3&sid=b011768e-ea8e-440e-a51d-ae7aa18d37c5%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#AN=uec.244353&db=cat05988a

May, T. C. (n.d.). The Crypto Anarchist Manifesto. Retrieved December 11, 2020, from https://www.activism.net/cypherpunk/crypto-anarchy.html

May, T. C. (1994). Crypto Anarchy and Virtual Communities | Satoshi Nakamoto Institute. https://nakamotoinstitute.org/virtual-communities/

Mik, E. (2019). Blockchains. In The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms (pp. 160–182). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108592239.009

Mintic. (2021). Glosario - Arquitectura TI. Ministerio de Tecnologías de La Información y de Las Comunicaciones.

Mulligan, C., Scott, J. Z., Warren, S., & Rangaswami, J. (2018). Blockchain Beyond the Hype A Practical Framework for Business Leaders. World Economic Forum, April, 1–7.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. www.bitcoin.org

OCDE. (2019). Blockchain Technologies as a Digital Enabler for Sustainable Infrastructure. https://www.oecd-ilibrary.org/environment/blockchain-technologies-as-a-digital-enabler-for-sustainable-infrastructure_0ec26947-en

OECD. (2018). OECD Blockchain Primer.

Pope, R. (2019). Playbook: Government as a Platform.

PoW, PoS y PoI para principiantes. (n.d.).

Preukschat, A., Kuchkovsky, C., Gómez Lardies, G., Díez García, D., Molero, Í., Várez, J. L., Felguera, E., & Steck, C. (2018). Blockchain: la revolución industrial de internet. http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat05988a&AN=uec.252651&site=eds-live

Ragnedda, M., & Destefanis, G. (n.d.). Blockchain and web 3.0: social, economic, and technological challenges. Retrieved June 17, 2022, from https://www.routledge.com/Blockchain-and-Web-30-Social-Economic-and-Technological-Challenges/Ragnedda-Destefanis/p/book/9780367726928

Rattanapoka, C. (2010). Understanding Peer-to-Peer Technology . Suranaree J. Soc. Sci, 4(1). https://so05.tci-thaijo.org/index.php/sjss/article/view/23805/20252

Redes centralizadas VS distribuidas. | by iCommunity.io | Medium. (n.d.).

Rivest, R. L., Shamir, A., & Adleman, L. (1978). A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems. Communications of the ACM, 21(2), 120–126. https://doi.org/10.1145/359340.359342

Roy, L. (2019). 5 Ways Traceability Technologies Can Lead to a Safer, More Sustainable World. World Economic Forum, 10, 1–6.

Ruparelia, N. (2016). Cloud computing. MIT Press.

Sede Bogotá | Universidad Nacional de Colombia: Curso: Tecnología blockchain y aspectos económicos. (n.d.).

Soudan, Y. (2021). The Governance Problem in Distributed Ledgers: An Analysis Focusing on Tezos.

Stadista. (2021). Blockchain.

Swan, M. (2015). Blockchain. O'Reilly Media. http://shop.oreilly.com/product/0636920037040.do

Tan, E., Mahula, S., & Crompvoets, J. (2022). Blockchain governance in the public sector: A conceptual framework for public management. Government Information Quarterly, 39(1), 101625. https://doi.org/10.1016/J.GIQ.2021.101625

Tapscott, D., Tapscott, A., & Salmerón Arjona, J. (Trad). (2017). La revolución blockchain: descubre cómo esta nueva tecnología transformará la economía global. Deusto.

Taskinsoy, J. (2019). Blockchain: A Misunderstood Digital Revolution. Things You Need to Know about Blockchain. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/SSRN.3466480

Tsvetkov, B., & Kostadinov, H. (2019). DLT smart contract platforms for software lifecycle management. AIP Conference Proceedings, 2164(1), 120015. https://doi.org/10.1063/1.5130875

Uhlig, L., & Urbach, N. (2021). What Do We Really Need? A Systematic Literature Review of the Requirements for Blockchain-based E-government Services. Conference: 16th International Conference on Wirtschaftsinformatik. https://www.researchgate.net/publication/348678589_What_Do_We_Really_Need_A_Systematic_Literature_Review_of_the_Requirements_for_Blockchain-based_E-government_Services

United States Government Accountability Office. (2022). Blockchain. Emerging Technology Offers Benefits for Some Applications but Faces Challenges. https://www.gao.gov/assets/gao-22-104625.pdf

UxTIC / Token Partner - Cámara de Comercio Blockchain (Bogotá, Colombia) | Meetup. (n.d.).

Wang, W. A. (2018). Crypto Economy: How Blockchain, Cryptocurrency, and Token-Economy Are Disrupting the Financial World. Racehorse Publishing.

Warburg, B., Wagner, B., & Serres, T. (2019). Basics of Blockchain: a guide for building literacy in the economics, technology and business of blockchain. Independently published.

WEF Blockchain Toolkit - Digital Identity. (n.d.).

Wolf, D. B., Becerra, S. de la C., Carvalho de Fassio, R., Lehrer, D., Lundy-Bryan, L., Passos, L., Rodriguez Cabrera, C., & Wu, H. (2020). Exploring Blockchain Technology for Government Transparency: Blockchain-Based Public Procurement to Reduce Corruption. World Economic Forum: Insight Reports.

World Economic Forum. (2018). Blockchain Beyond the Hype A Practical Framework for Business Leaders.

'Zero Knowledge Proof': cómo preservar la privacidad en un mundo basado en datos | BBVA. (n.d.).



REFERENCIAS RECOMENDADAS

- **Agencia Nacional de Tierras, Colombia, Blockchain Tierras**
  https://www.ant.gov.co/transparencia-y-acceso-a-la-informacion-publica/informacion-de-interes/prototipo-blockchain-tierras#documentos
  https://youtu.be/oGuSB2NAvMc

- **Banco Mundial (2018), UFA2020 Overview: Universal Financial**
  https://www.worldbank.org/en/topic/financialinclusion/brief/achieving-universal-financial-access-by-2020

- **Cámara de Comercio de Bogotá (2019)**
  https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Software-y-TI/Noticias/2019/Septiembre-2019/Avanzan-las-acciones-en-materia-de-economia-digital-en-Colombia

- **Centro de Innovación Ministerio TIC, Estrategia Blockchain, Informe de Resultados Proceso de Elecciones prototipo de Blockchain**
  https://centrodeinnovacion.mintic.gov.co/sites/default/files/20_blockchain_para_eleccion_colegios_distritales.pdf

- **Clementina Giraldo, Perspectivas del Ecosistema Blockchain de Chile: Visión del Gobierno.** http://www.clemengiraldo.com/blockchainchile/

- **Colombia C4RI (2019), Documento estratégico Blockchain, diciembre 2019**

- **Colombia: Ley de Protección de Datos de Colombia, Ley 1581 de 2012, Ministerio TIC.** https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-4274_documento.pdf

- **Colombia Fintecth (2019), El Banco de La República de Colombia explorará intercambio de valores con Blockchain, octubre 2019.** https://www.colombiafintech.co/novedades/banco-republica-de-colombia-explorara-intercambio-de-valores-con-corda-de-r3

- **Consensys, Zug Digital ID: Blockchain Case Study for Government Issued Identity.** https://consensys.net/blockchain-use-cases/government-and-the-public-sector/zug/

- **Cordero Valdavia, Magdalena (2019), Blockchain en el sector público, una perspectiva internacional, Revista Vasca de Gestión de Personas y Organizaciones Públicas** https://www.euskadi.eus/t59auUdaWar/t59aMostrarFicheroServlet?R01HNoPortal=true&t59aIdRevista=3&t59aTipoEjemplar=R&t59aSeccion=51&t59aContenido=2&t59aCorrelativo=2&t59aVersion=1&t59aNumEjemplar=16

- **Datareportal (2020). Digital around the world. https://datareportal.com/global-digital-overview**

- **Deloitte, Aplicaciones prácticas de blockchain para el sector público, Conceptos básicos para el gobierno.** https://www2.deloitte.com/es/es/pages/public-sector/articles/blockchain-sector-publico.html

- **Enev, Emilian (2020). How to put together a Blockchain project.**

- **Gitconin, 2019. Open-Source Money will BUIDL the Open Source Ecosystem, The blockchain revolution is growing open source Medium 2018, Kevin Owocki** https://medium.com/gitcoin/open-source-money-will-buidl-the-open-source-ecosystem-f4169def8748

- **GlobalData (2020). Blockchain to play a pivotal role in healthcare industry, but uptake is slow** https://www.globaldata.com/blockchain-to-play-a-pivotal-role-in-healthcare-industry-but-uptake-is-slow/

- **Haig, Samuel (2020). Las grandes farmacéuticas instan a la FDA a usar blockchain para el seguimiento de los medicamentos. Cointelegraph.** https://es.cointelegraph.com/news/big-pharma-urges-fda-to-use-blockchain-for-drug-tracking

- **Iredale, Gwynet (2020). Chapter-4: Blockchain Technology Definition: What Are the Different Types?** https://101blockchains.com/blockchain-definition/

- **KPMG (2019), Nicolas Olea y Glenn Tjon, Descubra el potencial de Blockchain.** https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pa/delineandoestrategias/DE-Tecnologia-disruptiva-Descubra-el-potencial-de-blockchain-SECURED-updated.pdf

- **Lesa Noné (2019), Which Governments Are Using Blockchain Right Now?** https://consensys.net/blog/enterprise-blockchain/which-governments-are-using-blockchain-right-now?_ga=2.43621152.461112524.1598642409-1754052997.1598642409

- **Liao, Rebeca (2020), How interoperability establishes blockchain's utility and effectiveness for trade finance. World Economic Forum.** https://www.weforum.org/agenda/2020/05/blockchain-interoperability-utility-effectiveness/

- **Madeira, Antonio (2020), Blockchain perturba la industria de la música y hace que cambie de tono.** https://es.cointelegraph.com/news/blockchain-to-disrupt-music-industry-and-make-it-change-tune

- **Maxie, Emily (2018), Pros and Cons of Different Blockchain Consensus Protocols.** https://www.verypossible.com/insights/pros-and-cons-of-different-blockchain-consensus-protocols

- **MINTIC, Observatorio de la economía digital de Colombia.** https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-61929_recurso_4.pdf

- **Quandl, Bitcoin Total Number of Transactions.** https://www.quandl.com/data/BCHAIN/NTRAT-Bitcoin-Total-Number-of-Transactions

- **Redman, Jamie (2020), Close to 11 Million BTC Haven't Moved in Over a Year.** https://news.bitcoin.com/close-to-11-million-btc-havent-moved-in-over-a-year/

- **Rodríguez Roldán, Diego. Blockchain: cambiando los modelos de relación y confianza, Deloitte.** https://www2.deloitte.com/es/es/pages/governance-risk-and-compliance/articles/blockchain-cambiando-modelos-relacion-confianza.html

- **Rodríguez, Nelson, (2019), Prueba de concepto blockchain: Guía de PoC empresarial. 101 Blockchain.** https://101blockchains.com/es/prueba-de-concepto-blockchain/

- **SAP. Blockchain explicado desde una perspectiva empresarial.** https://www.sap.com/latinamerica/insights/what-is-blockchain.html

- **Serale, Florencia; Redi, Christoph; Muente-Kunigami, Arturo (2019), Blockchain en la administración pública ¿mucho ruido y pocos bloques? BID.** https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Blockchain_en_la_administraci%C3%B3n_p%C3%BAblica_Mucho_ruido_y_pocos_bloques_es.pdf

- **Slovak University of Technology (2019), OECD (2019). Scoping Paper on the Potential of Blockchain to Promote Trust in Public Institutions and Policy Making** https://www.mirri.gov.sk/wp-content/uploads/2019/12/Scoping-Paper-on-the-Potential-of-Blockchain-to-Promote-Trust-in-Public-Institutions.pdf

- **WEF (2017), Two billion people lack access to a bank account. Here are 3 ways blockchain can help them, Pavel Bains Chief Executive Officer, Bluzelle Networks** https://www.weforum.org/agenda/2017/06/3-ways-blockchain-can-accelerate-financial-inclusion/

- **WEF (2018). How blockchain brings social benefits to emerging economies.** https://www.weforum.org/agenda/2018/12/how-blockchain-brings-social-benefits-to-emerging-economies

- **WEF (2020), Why we need a blockchain bill of rights, February 2020.** https://www.weforum.org/agenda/2020/02/why-we-need-a-blockchain-bill-of-rights/



REFERENCIAS SOBRE OFERTA DE EDUCACIÓN EN BLOCKCHAIN

- **SENA Innova**
  https://www.sena.edu.co/es-co/Empresarios/Paginas/SENA%20INNOVA%202020/Nuestro-Proceso.aspx

- **Fundación Universitaria del Área Andina**
  https://www.areandina.edu.co/es/content/curso-en-blockchain-fundamentos-de-una-tecnologia-disruptiva

- **Bogotá Aprende TIC**
  http://www.bogotaaprendetic.gov.co/cur3.html

- **Cámara de Comercio de Bogotá, "La tecnología blockchain y los criptoactivos han llegado para quedarse", Blockchain y Criptomonedas**
  https://www.ccb.org.co/Eventos-y-capacitaciones/Nuestros-eventos/Formacion-Empresarial/Seminarios-virtuales/Blockchain-y-criptomonedas

- **Diplomado en Blockchain-Desarrollo de Aplicaciones Descentralizadas sobre Ethereum (DAPPS)**
  https://www.usergioarboleda.edu.co/educacion-continuada/diplomado-en-blockchain-desarrollo-aplicaciones-descentralizadas-ethereum-daaps/

- **Economía colaborativa, Universidad Sergio Arboleda.**
  https://www.usergioarboleda.edu.co/madrid/programa/economia-colaborativa_

- **Tecnología blockchain y aspectos económicos, Universidad Nacional de Colombia.**
  https://bogota.unal.edu.co/noticias/actualidad/curso-tecnologia-blockchain-y-aspectos-economicos/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=3969354d6c0cbe442d15c8c89730ce44

- **Blockchain – Creación de contratos inteligentes, Universidad Nacional de Colombia.**
  https://bogota.unal.edu.co/noticias/actualidad/blockchain-creacion-de-contratos-inteligentes-agosto-02/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=7c56e031fe1da2c2b9f1817d30cef263

- **Fundamentos de la Tecnología Blockchain, Universidad Javeriana.**
  https://educacionvirtual.javeriana.edu.co/fundamentos-de-la-tecnolog%C3%ADa-blockchain

- **Introducción al Blockchain y monedas encriptadas: impacto en el mercado financiero – Medellín.**
  https://www.eafit.edu.co/cec/econom%C3%ADa-y-finanzas/economia/curso-introduccion-al-blockchain-y-monedas-encriptadas-impacto-en-el-mercado-financiero-medellin

- **Blockchain para programadores en Ethereum y DeFi, Blockchain eX Innovation Center.**
  https://bloex.co/portfolio/blockchain-para-programadores-en-ethereum-y-defi-finanzas-decentralizadas/

- **Cursos y cátedra Blockchain Universidad Jorge Tadeo Lozano.**
  https://appsia.utadeo.edu.co/pda/pags/es/anyo20182S/asignaturas/plan0504/asig10166.html
  https://www.utadeo.edu.co/es/evento/academicos/no-te-pierdas-la-clase-abierta-de-introduccion-la-blockchain/home/1
  https://www.utadeo.edu.co/es/evento/academicos/clase-abierta-introduccion-la-blockchain/home/1
  https://www.utadeo.edu.co/es/evento/academicos/se-inician-las-clases-abiertas-de-introduccion-la-blockchain/home/1

El futuro digital es de todos

MinTIC

MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES
Edificio Murillo Toro Cra. 8 entre calles 12A y 12B
Bogotá, D.C. - Colombia - Código Postal 111711
Tel: (+57) 601 344 34 60 - Línea Gratuita: 01-800-0914014
Correo: minticresponde@mintic.gov.co
Horario de Atención:
Lunes a Viernes 8:30 am - 4:30 p.m.

Hechos QUE CONECTAN