



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PLATAFORMAS DE  
BLOCKCHAIN Y SUS DIFERENTES ESCENARIOS DE USO

AUTOR

José Nemecio Rodríguez Loor

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PLATAFORMAS DE BLOCKCHAIN Y  
SUS DIFERENTES ESCENARIOS DE USO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de  
Ingeniero en Electrónica y Redes de Información.

Profesor Guía

MSc. Ángel Gabriel Jaramillo Alcázar

Autor

José Nemecio Rodríguez Loo

Año

2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo, Estudio y Análisis comparativo sobre plataformas Blockchain y sus diferentes escenarios de uso, a través de reuniones periódicas con el estudiante José Nemecio Rodríguez Loo, en el semestre 202020 orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”



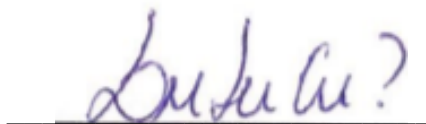
Ángel Gabriel Jaramillo Alcázar

Magister en Gerencia de Sistemas y en Tecnologías de la  
Información

CI. 1715891964

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Estudio y Análisis comparativo sobre plataformas Blockchain y sus diferentes escenarios de uso, del estudiante José Nemecio Rodríguez Loor, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los trabajos de Trabajos de Titulación”



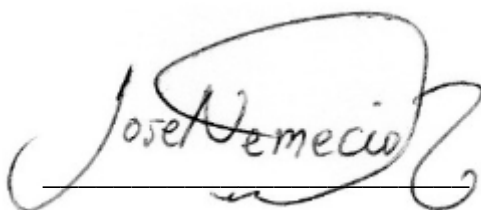
Luis Santiago Criollo Caizaguano

Máster en Redes de Comunicaciones

CI. 1717112955

## DECLARACIÓN DE AUTORIA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

A handwritten signature in black ink, reading "José Nemecio Rodríguez Loo". The signature is written in a cursive style with a large, prominent loop at the beginning and end.

José Nemecio Rodríguez Loo

CI.1312394222

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a toda mi familia, especialmente a mis padres, abuelita y a mi hermana, sin todo el amor y ayuda de ellos no hubiera sido posible este logro.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a toda mi familia que siempre me apoyó durante todos estos años. También a todas mis amigos y profesores, los cuales me brindaron su conocimiento y gracias a ellos aprendí mucho.

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como principal objetivo realizar un estudio detallado acerca de las plataformas blockchain y sus posibles implementaciones en diferentes escenarios de uso.

El desarrollo se lo realiza mediante un análisis de diferentes plataformas blockchain, diferenciando sus principales características, para poder realizar una guía que sirva como punto de inicio en diferentes áreas, y tener una visión más detallada sobre que plataforma es la mejor opción para utilizar.

El proceso de este estudio comparativo se lo desarrolla mediante diferentes tablas que ayudan a implementar una guía siguiendo diferentes procesos. Este trabajo estará dividido en varias partes. En la introducción se mostrarán las especificaciones.

Otra parte importante de este trabajo de titulación es que está dividido en varios temas y definiciones de la tecnología Blockchain y sus diferentes plataformas, se recopilan datos para luego seleccionar los más importantes y crear una lista de características para así analizar cada plataforma escogida y compararlas de una manera justificada. Se busca que los lectores de este documento sean conscientes de las ventajas que puede tener la implementación de una plataforma Blockchain en un ambiente específico.

Finalmente, se presentarán las respectivas conclusiones del proyecto y de esa manera tener un documento detallado que sirva de ayuda en caso de que alguna persona o institución requiera seleccionar una plataforma Blockchain que cumpla con ciertos requerimientos.



## **ABSTRACT**

The main objective of this degree work is to carry out a detailed study about blockchain platforms and their possible implementations in different usage scenarios.

The development is carried out through an analysis of different Blockchain platforms, differentiating their main characteristics, to be able to make a guide that serves as a starting point in different areas, and to have a more detailed vision of which platform is the best option to use.

The process of this comparative study is developed through different tables that help implement a guide following different processes. This work will be divided into several parts. Specifications will be shown in the introduction.

Another important part of this degree work is that it is divided into various topics and definitions of Blockchain technology and its different platforms, data is collected to then select the most important ones and create a list of characteristics to analyze each chosen platform and compare them. in a justified way. The readers of this document are intended to be aware of the advantages that the implementation of a Blockchain platform can have in a specific environment.

Finally, the respective conclusions of the project will be presented and thus have a detailed document that will help in the event that any person or institution needs to select a Blockchain platform that meets certain requirements.

# ÍNDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Alcance .....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos .....	3
1.4 Metodología .....	4
<b>2. Marco Teórico .....</b>	<b>5</b>
2.1 Blockchain .....	5
2.1.1 Redes Peer-to-Peer .....	7
2.1.2 Distributed Ledger (Libro Mayor Distribuido) .....	9
2.1.3 Smart Contract.....	9
2.1.4 Mecanismos de Consenso.....	10
2.1.5 Minería y Harvesting .....	12
2.2 Plataformas Blockchain .....	12
2.3 Arquitectura de Blockchain .....	12
2.4 Estudios Realizados .....	15
<b>3. Análisis de las plataformas .....</b>	<b>23</b>
3.1 Conociendo las Plataformas Blockchain .....	23
3.1.1 Ethereum .....	23
3.1.2 Ripple.....	24
3.1.3 Multichain.....	24
3.1.4 Hyperledger .....	25
3.1.5 EOS .....	25
3.1.6 CARDANO.....	26
3.1.7 CORDA.....	26
3.1.8 STELLAR.....	26
3.1.9 NEM.....	27
3.1.10 BigChainDB .....	27
3.1.11 OpenChain.....	28
3.1.12 NEO .....	29

3.1.13 Stratis Platform .....	29
3.1.14 Waves .....	30
3.1.15 Omni .....	30
3.1.16 Tendermint.....	31
3.1.17 AxCore.....	32
3.1.18 Nexledger .....	32
3.1.19 Lisk .....	33
<b>3.2 Tipos de aplicación .....</b>	<b>33</b>
3.2.1 Salud.....	33
3.2.2 Gobierno .....	34
3.2.3 Arte .....	34
3.2.4 Autenticidad .....	34
3.2.5 Sector Financiero.....	35
3.2.6 IOT.....	35
3.2.7 Monedas .....	36
3.2.8 Herramientas de desarrollo.....	36
3.2.9 Soberanía .....	36
3.2.10 Datos compartidos (Shared data) .....	37
<b>4. Metodología de la clasificación .....</b>	<b>38</b>
4.1 Desarrollo de la clasificación.....	38
4.1.1 Características principales.....	38
4.1.2 Características Secundarias .....	42
4.1.3 Características de los escenarios de uso .....	44
<b>5. Análisis.....</b>	<b>47</b>
5.1 Análisis de la clasificación .....	47
5.2 Análisis de Escenarios Estudiados .....	53
<b>6. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>55</b>
6.1 Conclusiones .....	55
6.2 Recomendaciones .....	56
<b>Referencias .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura.1.</i> Esquema de redes P2P y Cliente/Servidor .....	8
<i>Figura.2</i> Ejemplo de funcionamiento de una blockchain. ....	13
<i>Figura.3</i> Grafico de decisión de Blockchain (Do you need a blockchain) .....	22

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.1 Diferencias de Mecanismos de consenso .....	11
Tabla.2 Características de una Blockchain .....	14
Tabla.3. Tecnología Blockchain .....	17
Tabla.4. Criptodivisas públicas.....	18
Tabla.5. Descripción general de las tecnologías de blockchain .....	19
Tabla.6. Descripción general de los actores de diferentes plataformas .....	20
Tabla.7. Características identificadas de una plataforma blockchain .....	38
Tabla.8. Características Secundarias identificadas de las plataformas Blockchain .....	43
Tabla.9. Posibles características de un escenario de uso.....	44
Tabla.10. Análisis de las plataformas según las características permitida e interoperabilidad.....	48
Tabla.11. Análisis de las plataformas según sus características de desempeño, Tolerancia a fallas bizantinas e implementación de contratos inteligentes .....	49
Tabla.12. Análisis de las plataformas según sus características de Manejo de Identidad, Seguridad y criptomonedas .....	50
Tabla.13. Consensos y protocolos de comunicación que utilizan cada plataforma .....	51
Tabla.14. Características Secundarias de las plataformas blockchain estudiadas. ....	52
Tabla.15. Escenarios y posibles plataformas adecuados.....	53

## 1. Introducción

El presente trabajo de investigación se refiere al análisis comparativo sobre diferentes plataformas de Blockchain y sus diferentes escenarios de uso. Blockchain se puede definir como un sistema que funciona mediante una red *peer-to-peer* que es distribuido, unas de las definiciones más importantes sobre esta tecnología son los consensos combinados con *Smart contract* y diferentes tecnologías. La característica principal de esta tecnología denominada blockchain, se refiere a su uso principal para la implementación o creación de aplicaciones con uso de dinero electrónico fundamentados en criptomonedas.

Para analizar las diferentes plataformas que existen se realizan varias pruebas de concepto y se estudian e identifican las diferentes implementaciones posibles de cada plataforma según sus características principales y diferentes propuestas en las áreas en las que se puede aplicar. Otra definición importante según de Oxford, la tecnología blockchain es: “un sistema que se encarga de mantener diferentes transacciones basadas en bitcoins u otras criptomonedas y funcionan mediante una red de punto a punto. (Oxford, 2019)

La investigación sobre este tema se realizó debido al progresivo interés sobre esta tecnología y su variedad de características que la diferencian debido al potencial que tiene para ofrecer confianza en varios ambientes tecnológicos. Por estas y otras razones, varias empresas y organizaciones se han motivado a implementar blockchain como una solución a distintos problemas que existen en diferentes áreas. A medida que esta tecnología gana fuerza, se han impulsado la creación y desarrollo de distintas herramientas que ayudan a la implementación de aplicaciones que usan blockchain, también conocidas como plataformas de blockchain.

Por otra parte, proporcionar características e información relevante fue uno de los intereses académicos, ya que posteriormente se puede profundizar la investigación, comenzando desde un análisis ya existente y aportar comparaciones y fuentes recientes sobre este tema que se caracteriza por la complejidad. En algunos casos, se llevó a cabo la implementación de esta tecnología mediante la elaboración de conceptos errados, ya que debido a su

amplia popularidad para solucionar problemas se suele motivar al uso de blockchain en escenarios donde no resulta justificada su aplicación.

Existen una variedad de plataformas de blockchain, las cuales tienen muchas diferencias significativas con respecto a las características y escenarios sobre las cuales están pensadas implementar. Una vez que se haya decidido que es necesario el uso de blockchain, se debe tener claro cuál de todas las plataformas es la más adecuado según las necesidades. Lo mencionado se lo puede realizar mediante la investigación de estándares y clasificación de plataformas de blockchain. Por lo tanto, en el ámbito profesional la motivación del trabajo de investigación es facilitar un mecanismo para comparar plataformas blockchain mediante un procedimiento donde se observe el escenario de negocio y un conjunto de características que ayude al diseño e implementación de una solución mediante el uso de blockchain.

## **1.1 Alcance**

El alcance de este trabajo de titulación es identificar plataformas de blockchain de acuerdo con sus características, respectivos repositorios, proyectos planteados con dicha tecnología, presencia en la comunidad, etc. De esta manera se puede seleccionar las plataformas más utilizadas y con mayor documentación para realizar un análisis y ser estudiadas en mayor profundidad. En el trabajo mencionado se realizará un análisis comparativo, mostrando las características más relevantes de las plataformas seleccionadas, se agrupará a las plataformas de acuerdo con las características y detalles relacionados entre sí. En la actualidad existen una variedad de plataformas blockchain y la mayoría de estas tecnologías son utilizadas más que todo en la creación de aplicaciones de dinero electrónico o criptodivisas, por lo que dentro del estudio se analizarán los diferentes casos de usos generales y no solo orientados a escenarios en usos de criptomonedas.

## 1.2 Justificación

La tecnología blockchain se encuentra principalmente asociada con Bitcoin y otros sistemas de dinero electrónico. En la actualidad se puede concluir que esta tecnología puede utilizarse de gran ayuda para otro tipo de aplicaciones. Blockchain asegura resolver una variedad de problemas y es una idea innovadora, por lo que en la actualidad existe un interés en diferentes partes de la sociedad. Existen una variedad de plataformas de blockchain con diferentes objetivos y aspectos. Debido a la complejidad que caracteriza a esta tecnología, la implementación de esta lleva a la creación de conceptos equivocados y a plantear soluciones utilizando la tecnología de blockchain en casos donde muchas veces no es necesaria su aplicación. Por esta razón existen artículos que ayudan en el desarrollo para saber y tener muy claro cuando es realmente justificado y necesario este tipo de tecnología y que plataforma es la más indicada según el negocio. Muchas de estas plataformas discrepan en cada una de las características tecnológicas que poseen, de tal manera que si se ha determinado que es necesario y conveniente utilizar tecnología blockchain se necesita definir y tener claro cuál de entre más de cincuenta plataformas se acomoda y adapta de una mejor manera a las necesidades para la solución que se desea implementar.

## 1.3 Objetivos

### Objetivo General

Realizar un estudio sobre las diferentes plataformas de Blockchain existentes, y sus escenarios de uso.

### Objetivos Específicos

- Identificar diferentes plataformas de blockchain de acuerdo con cada una de sus principales características y usos en la comunidad, para luego ser estudiadas a mayor profundidad.
- Analizar los diferentes casos de usos generales de las plataformas.
- Comparar las principales características de las tecnologías de blockchain.



## 1.4 Metodología

En el anteproyecto planteado se optó por utilizar el método inductivo para así poder obtener información relevante y fidedigna acerca del tema planteado. Mediante este método se espera obtener una recopilación de información importante para posteriormente realizar un análisis comparativo con las principales características.

La metodología para este proyecto hace referencia a la construcción de una clasificación basándose en el análisis de las plataformas más importantes en la tecnología Blockchain que existen con sus escenarios de negocios.

Para llegar al estado final de la clasificación y estudio de estas plataformas, se plantea realizar distintas etapas durante el proceso de este proyecto.

Se realizará un análisis general y moderno sobre las blockchain como tecnología y sus respectivos casos de aplicación donde permite resolver diferentes problemas.

A partir de estos conocimientos, se identificará diferentes plataformas y sus características principales, para luego profundizar el estudio en cada una de ellas, encontrando sus similitudes, características que la hacen diferentes, usos, entre otros factores.

Una vez cumplido con los pasos mencionados anteriormente, se definirá la clasificación y se validará la clasificación de la misma, verificando que se cumpla con el objetivo principal sobre la taxonomía de las plataformas.

## 2. Marco Teórico

En esta sección se revisará todas las definiciones principales que se utilizan a lo largo del proyecto. Se presentan los conceptos utilizadas y el proceso para obtener los mismos.

### 2.1 Blockchain

Según Michael Crosby, el objetivo principal de Blockchain es establecer un mecanismo de consenso distribuido, para que las organizaciones involucradas puedan crear un registro inequívoco en un libro mayor público que permita saber con seguridad que ocurrió un evento digital. Uno de los ejemplos más populares que utilizan tecnología blockchain es Bitcoin, la moneda digital descentralizada *Peer-to-Peer*, pero esta tecnología ha evolucionado y funcionado perfectamente en una amplia variedad de aplicaciones financieras o no financieras en el mundo. Esta tecnología tiene una variedad de definiciones existentes, las cuales logran identificar diferencias importantes.

Una Blockchain es específicamente una base de datos distribuida de registros o un libro público de todas las transacciones o eventos digitales que se han ejecutado y compartido entre las partes participantes. Cada transacción en el libro mayor público se verifica por consenso de la mayoría de los participantes en el sistema. Una vez ingresada, la información nunca se puede borrar. Los blockchain contienen un registro cierto y verificable de cada transacción realizada. (Crosby, 2016)

Se espera que blockchain revolucione la industria y el comercio e impulse el cambio económico a escala global porque es inmutable, transparente y redefine la confianza, permitiendo soluciones seguras, rápidas, confiables y transparentes que pueden ser públicas o privadas. Podría ayudar a las personas o entidades en ciertos países con identidad reconocida, propiedad de activos e inclusión financiera. (Underwood, 2016)

Blockchain permite a las empresas y a los participantes que realizan transacciones eliminar intermediarios, por lo que el tiempo de trabajo y el costo se reduce. Como se mencionó anteriormente la estructura de esta tecnología

permite crear un libro mayor digital que contienen transacciones entre equipos los cuales se encuentran distribuidos en una red, y este libro mayor no está controlado por ninguna autoridad central y todos los participantes de la red pueden observarlo. Otra característica importante de blockchain es la inmutabilidad, lo que significa que existe un proceso de validación, confirmación y distribución de la información en diferentes nodos de la red al momento que las transacciones atraviesan la misma, por lo que modificar o sustituir las transacciones que fueron almacenadas es casi imposible.

### **Tipos de Blockchain**

Existen tres clasificaciones generales de blockchain, blockchain pública, blockchain de consorcio y blockchain totalmente privada.

**Blockchain Pública:** En el caso de la blockchain pública, no existe una autoridad centralizada o ninguna de las partes tiene más poder que el resto. Aquí todos están abiertos a unirse o salir como lo deseen. La cadena de bloques está abierta públicamente y todos tienen derecho a validar una transacción. Bitcoin es el mejor ejemplo para blockchain público. (Lakshmi, Sindhu, & Sethumadhavan, 2017)

Como se menciona anteriormente en el ejemplo de bitcoin, los mineros son los responsables hacer válida las transacciones mediante el esfuerzo que ponen en los consensos, en este caso *proof of work*.

**Blockchain Privada:** Una blockchain privada significa que el propietario de la cadena de bloques tiene la máxima autoridad para cambiar la información. El resto de los nodos tienen acceso limitado a lectura. En comparación con la blockchain pública, la blockchain privada tiene las características de fácil modificación y bajo costo de transacción. La verificación de transacciones de la cadena de bloques privada solo necesita algunos nodos designados de alto crédito. La cadena de bloques privada se aplica a redes más cerradas, como la intranet. Es más importante resolver las fallas de choque que las fallas bizantinas. (Du, Ma, Zhang, Wang, & Chen, 2017)

**Blockchain de consorcio (*Permissioned o Consortium blockchain*):** La cadena de bloques autorizada significa que la blockchain está compuesta por muchas partes y que los participantes especifican previamente los nodos principales. Los miembros de la cadena de bloques autorizada no confían completamente en los demás. Cada participante selecciona su propio nodo de consenso de acuerdo con las reglas. Las transacciones deben ser reconocidas por la mayoría de los nodos de consenso. El grado de apertura y centralización de la cadena de bloques del consorcio se encuentra entre la cadena de bloques pública y privada. La cadena de bloques autorizada es adecuada para la red semicerrada, que está construida por diferentes empresas. (Du, Ma , Zhang , Wang , & Chen , 2017)

### **2.1.1 Redes Peer-to-Peer**

Las redes Peer-to-peer se pueden describir simplemente como lo contrario de las arquitecturas Cliente/Servidor, pero es mucho más complejo que eso. Una de las diferencias más significativas entre las redes *Peer-to-Peer* y las redes Cliente/Servidor es la teoría de que exista una entidad denominada *Servent* (palabra artificial derivada del término Server y el término Client) ya que las redes *Peer-to-Peer* representan la capacidad de actuar al mismo tiempo como servidores o como clientes, mientras que es completamente diferente en las redes Cliente/Servidor, ya que los nodos participantes en estas redes pueden actuar como cliente o como servidor, pero no las dos al mismo tiempo. (Schollmeier, 2002)

Una arquitectura de red distribuida se puede llamar una red punto a punto (P-to-P, PZP), si los participantes comparten una parte de sus propios recursos de *hardware* (potencia de procesamiento, capacidad de almacenamiento, capacidad de enlace de red, impresoras, etc.). Estos recursos compartidos son necesarios para proporcionar el Servicio y contenido ofrecido por la red (por ejemplo, compartir archivos o espacios de trabajo compartidos para la colaboración): Estos recursos son accesible por otros pares directamente, sin pasar entidades intermedias. Los participantes de dicha red son, por lo tanto,

recursos (servicio y contenido) proveedores y recursos (servicio y contenido) solicitantes (concepto de servidor) (Schollmeier, 2002)

Un concepto relacionado de las redes *Peer-To-Peer* con la tecnología Blockchain es el brindado por el diccionario de *Oxford*, una blockchain es: un sistema utilizado para hacer un registro digital de todas las ocasiones en que se compra o vende una criptomoneda y eso crece constantemente a medida que se agregan más bloques, mantenida en diferentes computadoras comunicándose una con la otra mediante una red *Peer-to-Peer*. (Oxford, 2019)

Este tipo de redes es una ventaja para el funcionamiento de las tecnologías Blockchain, ya que contribuye al objetivo de dicha tecnología, una de las ventajas de este tipo de redes es la redundancia. Si una parte del nodo de la red *Peer-to-Peer* no funciona por algún problema, el sistema seguirá funcionando ya que existen más nodos que van a estar disponibles. De este modo la tecnología blockchain provee y garantiza un porcentaje muy alto de confianza a sus usuarios, sin necesidad de una entidad central.

En la figura 1 se detalla la topología de red de una red cliente servidor comparada con una red punto a punto.

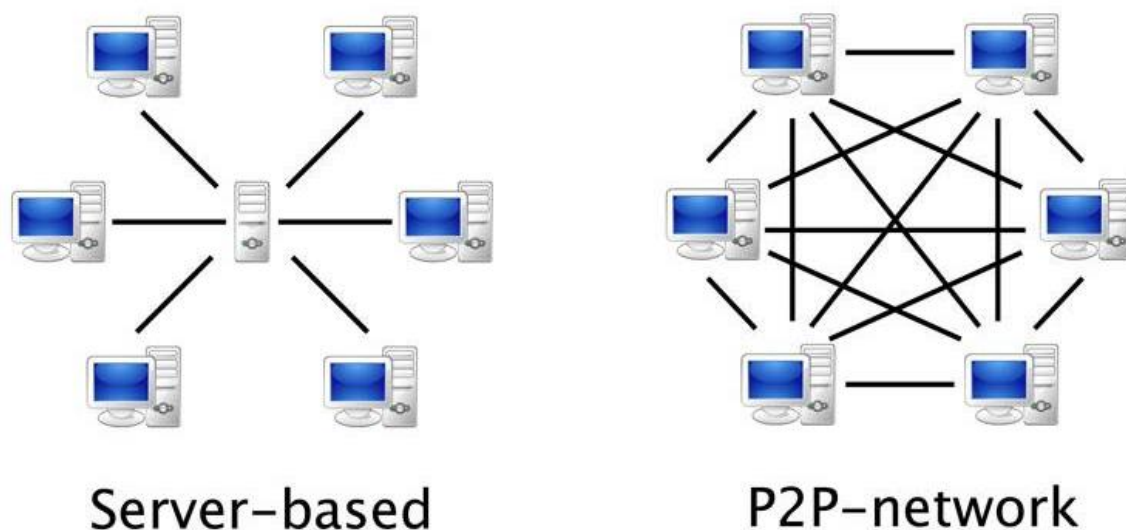


Figura. 1. Esquema de redes P2P y Cliente/Servidor

### 2.1.2 Distributed Ledger (Libro Mayor Distribuido)

Blockchain es conocida como las nuevas formas de base de datos distribuidas o libro mayor distribuido debido a que el libro mayor distribuido basado en blockchain también se conoce como blockchain 2.0, incluidas las nuevas tecnologías de "propiedades inteligentes" y "contratos inteligentes". Una base de datos distribuida es mantenida por cada uno de los participantes de la red en la cual no hay administrador central ni datos centralizados. Un libro mayor distribuido es simplemente una base de datos que gestionan varios participantes y no está centralizada. No existe una autoridad central que ejerza de árbitro y verificador. El registro distribuido aumenta la transparencia dificultando cualquier tipo de fraude o manipulación y el sistema es más complicado de 'hackear'. (BBVA, 2018)

### 2.1.3 Smart Contract

Este concepto de contrato inteligente o *Smart Contract* fue introducido por Nick Szabo en 1994 y fue definido como "Un protocolo de transacción computarizado que ejecuta los términos de un contrato"

Szabo Sugirió traducir cláusulas contractuales (colateral, vinculación, etc.) en código, e incrustarlas en propiedades (hardware o software) que se puedan hacer cumplir, a fin de minimizar la necesidad de intermediarios de confianza entre las partes que realizan transacciones. (Christidis, 2016) De este concepto se destaca que los *Smart Contract* son un código inalterable con el fin de hacer cumplir los términos especificados en el mismo.

El concepto de *Smart Contract* ha permanecido incomprensible para la mayoría de los abogados, y los programadores tienden a percibirlo como una solución que reemplaza los contratos tradicionales y el derecho contractual.

Un contrato inteligente es una funcionalidad programada que ejecuta una parte del contrato legal. Esta puede ser una función de pago automatizada que realiza la obligación de pago por ley contractual. Los autores no excluyen la posibilidad de que un contrato se realice en su totalidad por una solución de contratación inteligente en el futuro, pero esto depende de si dicho programa puede cumplir

con todos los requisitos del derecho contractual necesarios para la ejecución de una transacción específica. (Merit Kólvart, 2016)

Por otra parte, con la visión en este proyecto *Smart contract* se puede definir como un código irreversible, el cual se procesa en el momento en que los términos especificados en el contrato se cumplen, todo esto automáticamente.

#### **2.1.4 Mecanismos de Consenso**

Los mecanismos de consenso o también conocidos como algoritmos de consenso son una parte fundamental para mantener la seguridad y eficiencia en la tecnología blockchain. Usando el correcto algoritmo de consenso según la necesidad significa un aumento en el rendimiento, eficiencia, escalabilidad y capacidad de evitar manipulaciones maliciosas en una aplicación de blockchain. Literalmente, consenso significa que es un acuerdo. Los algoritmos de consenso son aquellos algoritmos que ayudan a una red distribuida o descentralizada a tomar una decisión unánime cuando sea necesario. Sus características incluyen asegurar un gobierno descentralizado, estructura de quórum, autenticación, integridad, no repudio, tolerancia a fallas bizantinas y rendimiento. Las blockchain pública, bitcoin utiliza el concepto de *proof of work*. Existen otras formas de protocolos de consenso que aplican el concepto de: *Proof of Stake*(PoS), *Proof of Elapsed Time* (PoET), *Proof of Existence* (PoE), *Delegated Proof of Stake* (DPoS), *Proof of Activity* (híbrido de prueba de trabajo y prueba de estaca), *Proof of Importance*, *Proof of Storage*, etc. (Lakshmi, Sindhu, & Sethumadhavan, 2017)

En el artículo desarrollado por (Du, Ma , Zhang , Wang , & Chen , 2017) se establecen las siguientes definiciones sobre algunos tipos de mecanismos de consenso:

**PoW (*Proof of work*):** Es una estrategia de consenso utilizada en la red Bitcoin. En una red descentralizada, se debe seleccionar a alguien para guardar las transacciones. La forma más sencilla es seleccionar aleatoriamente.

**PoS (*Proof of Stake*):** Es una alternativa de ahorro de energía a PoW. Los mineros en PoS tienen que demostrar la propiedad de la cantidad de moneda.

Se cree que las personas con más monedas serían menos propensas a atacar la red. La selección basada en el saldo de la cuenta es bastante injusta porque la persona más rica está obligada a ser dominante en la red.

**PBFT (*Practical byzantine fault tolerance*):** Es un algoritmo de replicación para tolerar fallas bizantinas. Hyperledger Fabric utiliza el PBFT como algoritmo de consenso ya que PBFT podría manejar hasta 1/3 de réplicas bizantinas maliciosas. Se determina un nuevo bloque en una ronda. En cada ronda, se seleccionaría un acuerdo con algunas reglas.

**DPOS (*Delegated proof of Stake*):** La principal diferencia entre PoS y DPOS es que PoS es democrático directo, mientras que DPOS es democrático representativo. Las partes interesadas eligen a sus delegados para generar y validar bloques. Con un número significativamente menor de nodos para validar el bloque, el bloque podría confirmarse rápidamente, lo que llevaría a una rápida confirmación de las transacciones.

Cada uno de los algoritmos de consenso tienen diferentes ventajas y desventajas, en la tabla 1 se presenta una comparación entre los algoritmos de consenso más utilizados y ejemplos de cada uno de ellos.

Tabla.1

*Diferencias de Mecanismos de consenso*

<b>Propiedad</b>	<b>PoW</b>	<b>PoS</b>	<b>PBFT</b>	<b>DPOS</b>
Gestión de identidad del nodo	Abierto	Abierto	Autorizado	Abierto
Ahorro de energía	No	Parcial	Si	Parcial
Poder tolerado del adversario	<25%	<51%	<33.3%	<51%
Ejemplo	Bitcoins	Peercoin	Hyperledger fabric	Ripple



### **2.1.5 Minería y Harvesting**

En algunos sitios oficiales de plataformas de blockchain como NEM, se mencionan diferentes conceptos como *mining* o *harvesting*, ambos dependen de la plataforma que se utilice, pero tienen similitudes en la teoría. Es el proceso que ayuda a verificar transacciones que se está dispuesto a agregar a la blockchain.

La minería es un proceso mediante el cual un nodo calculará bloques y los agregará a la cadena de bloques. Un bloque contiene todas las transacciones que se enviaron en el último minuto. En otras palabras, se calcula un bloque cada minuto. Con la ayuda del algoritmo de prueba de importancia, se decide qué nodo puede calcular un bloque y puede mantener todas las tarifas de transacción incluidas. (NEM, 2019)

## **2.2 Plataformas Blockchain**

En la actualidad existen una variedad de implementaciones ya sean privadas como Hyperledger, Tembusus, Ripple Labs o Tillit. Y las plataformas públicas como Litecoin, Bitcoin, Ethereum, etc. Entre todas las plataformas nombradas existen algunas con mayor recorrido y futuro que otras. Resulta complicado encontrar una definición precisa con el término de plataformas de blockchain ya que existen varias implementaciones en el mercado que es complicado saber si se trata de un proyecto o una implementación de plataforma de blockchain. Por estas razones, según la información encontrada se puede definir que una plataforma Blockchain se trata de un conjunto o varias herramientas que facilitan el desarrollo de aplicaciones distribuidas mediante la tecnología blockchain.

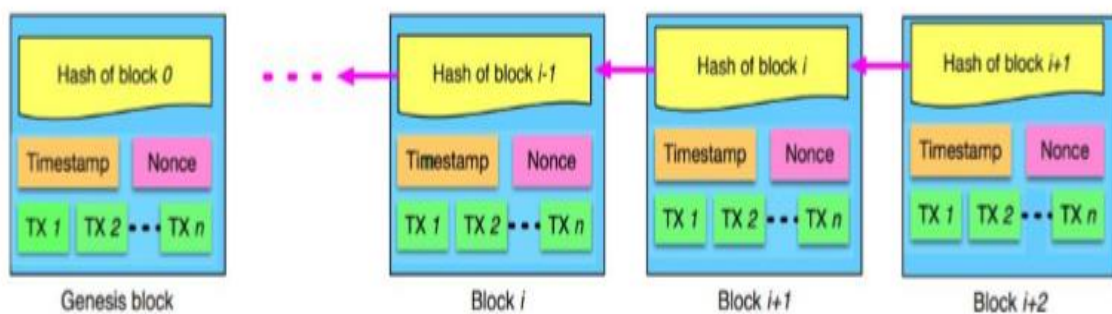
## **2.3 Arquitectura de Blockchain**

En esta sección se describe la arquitectura y características técnicas que componen una blockchain.

Una cadena de bloques es una estructura de datos distribuidos que se replica y comparte entre los miembros de una red. Fue introducido con Bitcoin para resolver el problema del doble gasto. Como resultado de cómo los nodos en la

red de Bitcoin (los llamados mineros) se añaden a transacciones validadas y mutuamente acordadas, la cadena de bloques de Bitcoin alberga el libro mayor autorizado de transacciones que establece quién posee qué. ( CHRISTIDIS & DEVETSIKIOTIS, 2016)

Cada bloque de la cadena lleva una lista de transacciones y un hash que identifica al bloque anterior. La excepción a esto es el primer bloque de la cadena, llamado génesis, que es común a todos los clientes en una red blockchain y no tiene padre, es decir que no posee una característica o referencia del algún bloque que lo preceda. En la **Figura 2** se puede observar una estructura de una blockchain en donde observa el hash que identifica al bloque pasado, un *timestamp* para marcar el tiempo y un campo *nonce* que es utilizado en bitcoin para realizar la transacción de secuencias agregadas y el cálculo del *hash* del bloque. La estructura mostrada puede diferir según el tipo de implementación o la plataforma blockchain que se utilice.



*Figura.2* Ejemplo de funcionamiento de una blockchain.

Tomado de: ( Zheng, Xie, Dai, Chen, & Wang, 2017)

En la figura 2 se ilustra la estructura de una red Blockchain en donde se puede identificar los componentes principales.

Por otra parte, en el mismo artículo realizado por ( CHRISTIDIS & DEVETSIKIOTIS, 2016) se define que, se puede comprender mejor cómo funciona una cadena de bloques cuando examinamos la misma. Este es un conjunto de nodos (clientes) que operan en la misma cadena de bloques a través de la copia que cada uno posee. Un nodo generalmente puede actuar como un

punto de entrada para varios usuarios diferentes de cadenas de bloques en la red, pero por simplicidad, asumimos que cada usuario realiza transacciones en la red a través de su propio nodo. Estos nodos forman una red punto a punto donde los principales actores y procesos se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla.2

*Características de una Blockchain*

Usuarios	Interactúan con la cadena de bloques a través de un par de claves privadas / públicas. Los usuarios usan su clave privada para firmar sus propias transacciones, y son direccionables en la red a través de su clave pública. El uso de la criptografía asimétrica brinda autenticación, integridad y no repudio en la red. Cada transacción firmada es transmitida por el nodo de un usuario a sus pares de un salto.
Puntos vecinos	Se aseguran de que las transacciones entrantes sean válidas antes de seguir transmitiéndolas. Las transacciones inválidas se descartan. Finalmente, esta transacción se extiende a toda la red.
Transacciones	Las transacciones que han sido recopiladas y validadas por la red utilizando el proceso anterior durante un intervalo de tiempo acordado, se ordenan y empaquetan en un bloque de candidatos con marca de tiempo. Este proceso se lo conoce como minería.
Nodos	Los nodos verifican que el bloque sugerido contiene transacciones válidas, y hace referencia a través de hash al bloque anterior correcto en su cadena. Si ese es el caso, agregan el bloque a su cadena y aplican las transacciones que contiene para actualizar el registro. Si ese no es el caso, el bloque propuesto se descarta. Esto marca el final de una ronda.

## 2.4 Estudios Realizados

Existen diferentes artículos y varias publicaciones que se centran en la clasificación y taxonomías de diferentes plataformas de blockchain. Esta tecnología en lo general no tiene mucho tiempo por lo que se siguen implementando y desarrollando diferentes plataformas que ayudan a la creación de aplicaciones con arquitectura Blockchain. El campo de uso es bastante amplio y las clasificaciones propuestas se tratan ya sea en el uso financiero o no financiero.

En el artículo desarrollado por (Ivanov, Karpus, & Gorokhovskiy, 2018), se detalla un estudio que se centra en el análisis comparativo de plataformas basadas en blockchain que proporcionan herramientas para la monetización de procesos comerciales. Este estudio se centra en la comparación y definición de estándares de tres plataformas que tienen como objetivo la *tokenización* y la creación de aplicaciones descentralizadas. Las plataformas son Ethereum, NEM y Stellar. En este artículo también se detallan las preguntas que se necesitan definir claramente para poder comparar plataformas Blockchain.

- *¿Qué tareas deben resolverse con el uso de estas plataformas?*
- *¿Se necesitan recursos adicionales para el lanzamiento, soporte y desarrollo de productos o servicios, o se tienen fondos propios suficientes?*
- *¿Quiénes son los clientes y participantes para utilizar los servicios y productos con el uso de plataforma blockchain?*
- *¿Qué tipo de transacciones se tienen?*
- *¿En qué aspectos se desea lograr el 100% de confianza de los clientes potenciales y participantes que usan el libro mayor distribuido para transacciones?*

En el artículo desarrollado por ( Pongnumkul, Chaiyaphum, & Suttipong , 2017) se realiza un análisis de dos populares plataformas privadas de blockchain, Hyperledger Fabric y Ethereum.

En el artículo se indica el rendimiento de las plataformas blockchain en términos del tiempo de ejecución promedio, la latencia promedio y el rendimiento

promedio. En el mismo se puede observar que Hyperledger Fabric supera a Ethereum en todos los escenarios, se explora las diferencias en el tiempo de ejecución de un número variable de transacciones, con diferentes plataformas y diferentes funciones. Los tiempos de ejecución aumentan a medida que aumenta el número de transacciones en el conjunto de datos. El tiempo de ejecución de Hyperledger es consistentemente más bajo que el de Ethereum en todos los conjuntos de datos. La brecha entre el tiempo de ejecución de Hyperledger y Ethereum también aumenta a medida que aumenta el número de transacciones.

(Ting Kuo, Zavaleta, & Ohno-Machado, 2019) realizaron un estudio comparando plataformas de blockchain basados en el cuidado de la salud, ya que la medicina con el uso de estas aplicaciones es una de las áreas más prometedoras para la adopción de esta tecnología.

La razón principal para que las aplicaciones de salud adopten blockchain se basa en sus características "*off-the-shelf*" o "listas para usar" que abordan las necesidades de muchas ciencias de la salud del mundo real. Por ejemplo, la gestión descentralizada es muy útil para organizar activos digitales producidos por varias instituciones. (p. ej., datos biomédicos, *software* y flujos de trabajo de uso frecuente en modelado predictivo y análisis). Otra ventaja mencionada en el artículo es el registro de la procedencia de los datos, que puede ser vital en aplicaciones como el soporte de decisiones clínicas y los sistemas de vigilancia. Esto es posible debido a que blockchain crea una pista de auditoría inmutable que registra permanentemente las transacciones. De modo que los registros críticos (por ejemplo, el registro de acceso a la información protegida del paciente) siempre están disponibles para que todos en la red los inspeccionen. En el estudio se indica que uno de los pasos críticos es seleccionar la plataforma blockchain subyacente más adecuada. Las 3 plataformas principales en el artículo son las siguientes: Ethereum MedRec y Patientory, las cuales proponen el uso de una cadena de bloques basada en la plataforma Ethereum para aplicaciones de intercambio de información de salud administradas por el paciente. (Ting Kuo, Zavaleta, & Ohno-Machado, 2019)

En la tabla 3 se presenta una comparación de diez diferentes plataformas de blockchain.

Tabla.3.

*Tecnología Blockchain*

<b>Plataforma Blockchain</b>	<b>Mejora principal sobre bitcoin</b>	<b>Protocolo de consenso</b>	<b>Hardware especial requerido</b>	<b>Soporte de contratos inteligentes</b>
Bitcoin	N/A	PoW	No	No
Ethereum	Gestión automática de activos digitales	Por/PoS	No	Si
Zcash	Privacidad/Anonimato	PoW	No	No, en desarrollo
Litecoin	ASIC	PoW	No	No
Dash	Privacidad/Anonimato	PoW	No	No
Peercoin	Eficiencia Energética a largo plazo	PoW	No	No, en desarrollo
Ripple	Transacción de baja latencia	RPCA	No	No
Monero	Privacidad/Anonimato	PoW	No	No
Multichain	Red privada/autorizada	PoW	No	Si
Hyperledger	Red blockchain empresarial	Adaptable	Intel SGX	

Tomada de: (Ting Kuo, Zavaleta, & Ohno-Machado, 2019)

En la tabla 4 se puede observar diez diferentes plataformas de blockchain comparando sus criptomonedas.

Tabla.4.

*Criptodivisas públicas*

<b>Plataforma Blockchain</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Pago anónimo</b>	<b>Transacción promedio por segundo</b>
Bitcoin	BTC/XBT	No	3,50
Ethereum	ETH	No	5,40
Zcash	ZEC	Si	0,06
Litecoin	LTC	No	0,35
Dash	DASH	Si	0,07
Peercoin	PPC	No	0,01
Ripple	XRP	No	10,75
Monero	XMR	Si	0,06
Multichain	N/A	N/A	1000,00
Hyperledger	N/A	N/A	3500,00

Tomada de: (Ting Kuo, Zavaleta, & Ohno-Machado, 2019)

En el estudio se indica que las 10 plataformas blockchain populares son de código abierto, lo cual es un factor clave para fomentar su popularidad. Además, 8 de 10 plataformas admiten criptomonedas, que pueden ser importantes dependiendo de cómo se diseñen los sistemas de incentivos para diferentes aplicaciones. Como varias plataformas blockchain se basaron en Bitcoin Blockchain (por ejemplo, bifurcado de él o trabajar encima de él), estas plataformas comparten similares características, como la adopción del protocolo de consenso PoW, que no requieren hardware especial para crear nuevos bloques y su implementación en C++. Entre las aplicaciones clínicas y de atención médica que se conocen, algunas se proponen y otras se implementan utilizando las plataformas blockchain incluidas en la revisión del artículo, especialmente Ethereum, Hyperledger y MultiChain. A medida que surjan más aplicaciones de blockchain, también será importante que cumplan con los

estándares que la comunidad de informática sanitaria ha estado apoyando durante mucho tiempo.

En el estudio realizado por (Ellerve, Matulevičius, & Mayer, 2018) acerca de la tecnología para un libro mayor distribuido basado en blockchain, se estudian ciertas plataformas de blockchain existentes considerando actores, servicios, procesos y datos. Las plataformas de tecnología Blockchain se pueden separar en cuatro grupos como se observa en la tabla 5.

Tabla.5.

*Descripción general de las tecnologías de blockchain*

	<b>Sin permisos</b>	<b>Con autorización</b>
<b>Con contrato inteligente</b>	Ethereum	Chain Core
<b>Solo transacciones</b>	Bitcoin	MultiChain

Tomada de: (Ellerve, Matulevičius, & Mayer, 2018)

La tecnología Blockchain se basa en una red descentralizada de nodos individuales, pero los nodos tienen diferentes propósitos y diferentes roles. Para cada plataforma, existe una noción de un Cliente y un Minero o alguien que construye y acuerda qué transacciones se incluyen en un bloque. El cliente interactúa con la cadena de bloques (intercambia o agrega valor y transmisión de transacciones). Los mineros se ocupan de validar las transacciones y construir nuevos bloques. Ya que Chain Core es una cadena de bloques privada, tiene operadores de Blockchain, que son generadores de bloque o firmantes. Fundamentalmente, un operador de Blockchain es un minero, porque las tareas del minero en un entorno de blockchain son crear nuevos bloques, firmarlos, validarlos y enviarlos a blockchain. En conclusión, la tecnología blockchain tiene dos actores principales a nivel empresarial: actor humano que interactúa con la cadena de bloques creando transacciones, este actor puede ser llamado un "Usuario", y actores humanos o del sistema responsables de la comprobación y reconocimiento de las transacciones, firma de nuevos bloques y publicación de nuevos bloques a la blockchain. (Ellerve, Matulevičius, & Mayer, 2018)



En la tabla 6 se presentan los diferentes actores o participantes que cumplen una función importante en ciertas plataformas de blockchain.

Tabla.6.

*Descripción general de los actores de diferentes plataformas*

<b>Plataformas</b>	<b>Actores</b>
Bitcoin	Cliente (Remitente/Receptor de Bitcoins), mineros
MultiChain	Cliente, mineros
Ethereum	Cuenta de propiedad externa, cuenta de contrato, minero
Chain Core	Cliente (Emisor / Gastador de activos), Operador de Blockchain (generador/firmante)

Tomada de: (Ellerve, Matulevičius, & Mayer, 2018)

En el estudio se indica que cada plataforma proporciona un servicio para crear y transmitir transacciones a la red. Este es un servicio esencial porque las transacciones dictan el estado de la blockchain y agregan nuevos datos a la misma. Cada plataforma tiene un proceso de descubrimiento de red, que consta de 4 pasos principales:

**Descubrimiento de pares:** Encontrar pares para conectarse, ya sea que el usuario ya conozca las IP o las adquiera.

**Handshake:** Verificación de versión, establecer conexión, proporcionar la propiedad de la clave privada.

**Descubrimiento de la red:** Encontrar pares vecinos y hacer que la red sepa que se ha conectado un nuevo nodo.

**Sincronización:** Descargar los últimos datos de bloque de la red.

Según los autores (Brason, Penny, Goldenberg, & Serrao, 2018) las áreas de aplicación bajo investigación y de valor potencial para el uso de tecnología Blockchain son numerosas. Estas incluyen atención médica, identidad, cadena de suministro (y logística), Internet de las cosas (IoT), fabricación aditiva e intercambio seguro de información, entre otros.

En el estudio se indica que Blockchain está siendo investigado como la base para numerosas aplicaciones de atención médica incluyendo registros de pacientes, ensayos de medicamentos, cadena de suministros médicos y procesamiento de pagos. Otra posible aplicación de atención médica es la salud de la población. En lugar de depender de intercambios de información de salud u otras formas de agregar datos, las organizaciones pueden eliminar intermediarios y acceder a bases de datos de pacientes a gran escala poblacional. La capacidad de registrar, rastrear y administrar la identidad en una cadena de bloques tiene el potencial de mejorar la eficiencia y minimizar el costo de la gestión de identidad; Una fuente de identidad inmutable y confiable hará que sea difícil robar, piratear, modificar o dañar la reputación, o comprometer la identidad para robar bienes reales o cometer fraude. El IoT está impactando a todos los segmentos de la industria, los consumidores y el gobierno. Con un tremendo crecimiento en los dispositivos inteligentes, se presentan muchos desafíos que incluyen: seguridad, gestión del ciclo de vida, integridad de dispositivo y datos, y autenticación de dispositivo.

En el artículo realizado por (Nasir, Qasse, & Talib, 2018) se estudia una de las plataformas blockchain recientemente establecidas llamada Hyperledger Fabric, Es una blockchain autorizada de código abierto que fue presentada por IBM, primero como Hyperledger Fabricv0.6, y más recientemente, en 2017, IBM lanzó Hyperledger Fabric v1.0.

Aunque hay muchas plataformas blockchain, no existe una metodología clara para evaluar las diferentes plataformas de blockchain en varios aspectos, como el rendimiento, la seguridad y la escalabilidad. No se debe pasar por alto la importancia de realizar un análisis de rendimiento para las plataformas blockchain, ya que los resultados de estos estudios pueden ser una gran entrada para todos los usuarios de blockchain cuando intentan elegir la mejor plataforma para su trabajo, especialmente aplicaciones críticas que incluyen redes escalables.

En la figura 3 se presenta un diagrama para decidir si la aplicación y tipo de negocio necesitan de la implementación de tecnología blockchain.

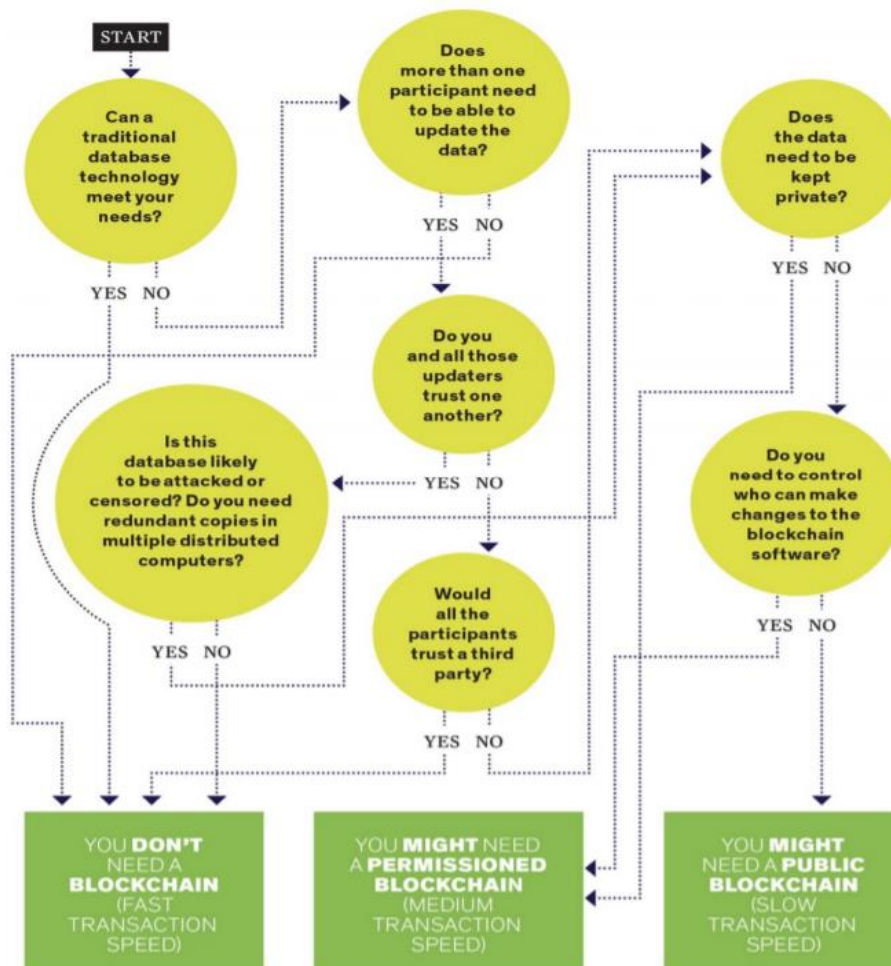


Figura.3 Grafico de decisión de Blockchain (Do you need a blockchain)

Tomado de: (Brason, Penny, Goldenberg, & Serrao, 2018)

### 3. Análisis de las plataformas

En esta sección del proyecto se logra identificar y analizar alrededor de veinte plataformas que utilizan la tecnología blockchain, para las cuales se definen sus principales conceptos y características. Estas plataformas son la base para realizar una clasificación de acuerdo con características y usos.

#### 3.1 Conociendo las Plataformas Blockchain

Para realizar una clasificación que ayude a tomar decisiones cuando se requiera utilizar blockchain, es fundamental conocer algunas de las plataformas más importantes. Por esta razón se realiza un estudio de las plataformas existentes, indicando las características más relevantes.

##### 3.1.1 Ethereum

Ethereum es una blockchain pública, *open source* basada en un sistema distribuido en el cual se puede utilizar contratos inteligentes. Esta plataforma consta con una criptomoneda llamada Ether. La plataforma Ethereum fue propuesta a finales del año 2013 por el programador Vitalik Buterin y desarrollada a mediados del año 2014.

Ethereum representa una cadena de bloques con un lenguaje de programación completo de Turing incorporado. Proporciona una capa abstracta que permite a cualquiera crear sus propias reglas de propiedad, formatos de transacciones y funciones de transición de estado. Esto se hace por que implican contratos inteligentes, un conjunto de reglas criptográficas que son ejecutadas solo si se cumplen ciertas condiciones.

##### Características:

- Capacidad para implementar y utilizar *Smart contract*.
- Utiliza el mecanismo de consenso *Proof of Work* (PoW).
- El algoritmo que utiliza es llamado Ethash.
- Cuenta con una criptomoneda llamada Ether (ETH).

- Los mineros involucrados que encuentran la solución a un bloque reciben una recompensa de 2 ETH.
- Los usos más grandes que tiene la plataforma de blockchain Ethereum son los *Smart contract* para la compraventa o negociación de bienes o servicios.

### 3.1.2 Ripple

La plataforma de Blockchain Ripple es un protocolo *open source* el cual también cuenta con una criptomoneda llamada XRP. La característica principal de esta plataforma es que permite hacer pagos en cualquier divisa o criptomonedas, incluyendo bitcoin cobrando una comisión mínima por transacción. Esta plataforma permite crear una moneda propia mediante RippleNet.

#### Características

- Su funcionamiento se basa en acuerdos llamados consensos.
- El protocolo que utiliza es RPCA (Ripple Protocol consensus Algorithm)
- Su criptomoneda se usa principalmente para cambio de divisas y transferencias.

### 3.1.3 Multichain

Multichain es una plataforma Blockchain que se caracteriza para la creación y despliegue de blockchain privadas. Su objetivo principal es evolucionar y superar obstáculos para que esta tecnología pueda desplegarse de una mejor manera en el sector financiero institucional, proporcionando privacidad y control necesario. Multichain se deriva del *software* Bitcoin Core y admite servidores Windows, Linux y Mac.

#### Características

- Esta plataforma blockchain cuenta con su propia API.
- Puede utilizarse para soportar blockchain personalizadas, públicas o privadas.
- Esta blockchain permite crear criptomonedas propias y así poder realizar intercambios y tener transacciones en una red.

- No necesita algoritmos de consenso, ya que los mineros son un conjunto de entidades identificadas.

### 3.1.4 Hyperledger

Plataforma de blockchain *Open source* la cual tuvo inicios en el año 2015 por la fundación Linux. Su principal objetivo es apoyar a varias empresas y gigantes tecnológicos a mejorar aspectos de fiabilidad y rendimiento. El proyecto Hyperledger aceptó varias propuestas y combinó trabajos anteriores de empresas como IBM, Blockstream y Digital Asset. Uno de los creadores de este proyecto aseguró que Hyperledger nunca fabricaría su propia moneda digital. Hyperledger cuenta con varios *frameworks* que son derivados de códigos de otras plataformas de blockchain con diferentes características cada uno, pero, Hyperledger Fabric es uno de los más conocidos.

#### Características

- Es una blockchain de carácter privado, permite el uso y la creación de contratos inteligentes.
- Permite la creación de canales privados entre diferentes organizaciones.
- Posee flexibilidad con respecto al consenso que se desea utilizar en la red.
- Posee *Pluggable consensus protocols*.

### 3.1.5 EOS

EOS.IO es un protocolo de blockchain el cual posee de una criptomoneda llamada EOS. Es una plataforma privada que maneja contratos inteligentes y fue desarrollada en el año 2017 por una y publicada a inicios del año 2018.

#### Características

- Tecnología Blockchain basada en *Smart Contract* asincrónicos.
- Supera 100.000 transacciones por segundos.
- Su criptomoneda EOS, se reparte en la red Ethereum.
- Su principal ventaja es la alta velocidad de procesamiento de información.
- Utiliza el algoritmo de consenso DpoS (Confirmación de Participación Delegada)

### 3.1.6 CARDANO

Es una Blockchain pública y de código abierto que acepta la implementación de contratos inteligentes. Su proyecto de criptomoneda es llamado ADA y es una moneda digital que se puede utilizar para enviar y recibir fondos digitales. Cardano fue creado por Charles Hoskinson, quien es uno de los cofundadores de Ethereum.

#### Características

- Esta implementada mediante un nuevo lenguaje de programación llamado Haskell.
- Trabaja con el mecanismo de consenso Proof of Stake.
- Esta tecnología blockchain funciona como criptomoneda y plataforma para Smart contract.

### 3.1.7 CORDA

Esta plataforma es de código abierto y privada, a pesar de que se especifica que es una plataforma de Blockchain es denominada como una tecnología de libro mayor distribuido o DLT en lo cual existe diferencia. Corda no cuenta con una copia de las transacciones realizadas en todos los nodos de la red (como sucede en las demás plataformas), sino que se conoce y almacenan las transacciones que fueron efectuadas por algún nodo.

#### Características

- Tiene la capacidad de gestionar contratos inteligentes.
- No posee una criptomoneda ni gestiona monedas digitales.
- Su uso se especializa en entidades financieras.
- Al momento de realizar una transacción se ejecutan dos consensos, *validity consensus* y *Uniqueness Consensus*.

### 3.1.8 STELLAR

Stellar es una plataforma que se utiliza principalmente para realizar transferencias de divisas, es de código abierto y posee un protocolo de pago descentralizado que permite transacciones rápidas entre cualquier par de

monedas o criptomonedas. Stellar posee su propia criptomoneda llamada Lumens que se caracteriza por no ser minable. Esta plataforma pudo reducir los costos entre transacciones de criptomonedas por esta razón se caracteriza como una plataforma financiera.

#### Características

- Stellar cuenta con su propia API simple para el usuario.
- Esta tecnología permite implementar *Smart Contract* a sus aplicaciones.
- El tiempo de confirmación de sus transacciones es de 3 a 5 segundos.
- La plataforma de consenso es completamente descentralizada.

#### **3.1.9 NEM**

La plataforma NEM es Open source. Es una plataforma que posee redes públicas y privadas. Otra característica importante de esta plataforma es que en lugar de utilizar contratos inteligentes posee activos inteligentes, permitiendo operar con transacciones más difíciles. Su rápida configuración y uso son las ventajas que más se destacan de esta plataforma.

#### Características

- Cuenta con su propio API que se puede incorporar a aplicaciones recientes, facilitando su uso.
- Utiliza el mecanismo de consenso *Proof of Importance*

#### **3.1.10 BigChainDB**

BigchainDB es un sistema de almacenamiento distribuido de código abierto cuyo objetivo es combinar los principales beneficios de las bases de datos NoSQL tradicionales, con los beneficios de la tecnología blockchain. BigchainDB permite el despliegue de aplicaciones a gran escala en una variedad de casos de uso e industrias, desde propiedad intelectual e identidad hasta cadena de suministro e Internet de las cosas.



### Características

- Es una base de datos de blockchain que ofrece descentralización, inmutabilidad y activos nativos.
- BigchainDB comparte los principales beneficios de la tecnología blockchain y las bases de datos distribuidas.
- Capacidades de consulta.
- Alto rendimiento.
- Activos a través de la red.

#### **3.1.11 OpenChain**

OpenChain es una tecnología de libro mayor distribuido y plataforma Blockchain de código abierto. Es adecuado para organizaciones que desean emitir y administrar activos digitales. El mecanismo de consenso utilizado por OpenChain difiere de otros sistemas basados en Bitcoin, utiliza el consenso dividido:

- Cada instancia de OpenChain solo tiene una autoridad que valida las transacciones.
- En lugar de un único libro de contabilidad central, cada organización controla su propia instancia de OpenChain. Las instancias pueden conectarse entre sí.
- Las diferentes autoridades serán validadas por diferentes autoridades dependiendo de los activos que se intercambien.
- Cada emisor de activos tiene control total sobre las transacciones relevantes para ese activo.

Sus usos principales son:

- Valores como acciones y bonos, productos como el oro y el petróleo, monedas como el dólar o incluso Bitcoin.
- Títulos de propiedad como títulos de propiedad, música o licencias de software.
- Tarjetas de regalo y puntos de fidelidad.

### **3.1.12 NEO**

NEO es una plataforma Blockchain descentralizada de código abierto fundada en 2014 por Da HongFei y Erik Zhang. Esta plataforma Blockchain está respaldada por el gobierno chino.

#### Características:

- Fue el primer proyecto de Blockchain de código abierto en la historia de China.
- Utiliza un mecanismo de consenso dBFT.
- Tiene la posibilidad de realizar más de 10.000 transacciones por segundo.
- La red funciona con un mecanismo de consenso descentralizado de tolerancia a fallos bizantino descentralizado (dBFT)
- puede admitir hasta 10,000 transacciones por segundo.

### **3.1.13 Stratis Platform**

Esta plataforma se desarrolla a nivel empresarial y ofrece soluciones integrales para aplicaciones nativas de cadena de bloques C # y .NET. Es una cadena de bloques patentada de código abierto. Está diseñada para las necesidades de las empresas de servicios financieros del mundo real. También brinda beneficios a otros tipos de organizaciones que desean aprovechar las tecnologías blockchain. STRAT es una criptomoneda utilizada por la plataforma Stratis para garantizar la creación de cadenas públicas y cerradas para uso corporativo. La plataforma Stratis ofrece una solución para la creación rápida de cadenas individuales sobre la base de la propia blockchain. Estas cadenas pueden variar de acuerdo con las necesidades de su empresa e incluso desempeñan una función popular de la cadena de bloques, como Ethereum o Lisk, que se pueden probar de forma individual o simultánea.

#### Características

- Proporciona una API para desarrollar aplicaciones en la parte superior del nodo completo.
- Utiliza un protocolo que es 98% similar al protocolo de red Bitcoin.

- Construido en C # usando la plataforma .NET Core.
- Admite algoritmos de consenso *Proof of Stake*, *Proof of work* y *Proof of Authority*.

#### **3.1.14 Waves**

Es un protocolo de Blockchain desarrollado para aplicaciones y soluciones descentralizadas. Esta plataforma permite a los usuarios crear su propio *token* o moneda personalizada. Sus usos principales son los siguientes.

- Mercado de artículos
- Apuestas en eventos deportivos
- Intercambio de activos y criptomonedas
- Solución para mensajería segura

#### Características

- El enfoque principal de la plataforma Waves está en la creación y transferencia de tokens personalizados.
- Hace unos años se implementó la funcionalidad de Smart contract en esta plataforma.
- La plataforma utiliza una variación del algoritmo de consenso tradicional *Proof-of-Stake* para mantener la integridad de la red. En un sistema de *Leased Proof-of-Stake* (LPoS).
- Los mineros tienen una recompensa por los distintos bloques que puedan solucionar en el día.
- La criptomoneda DEX puede ser intercambiada por cualquier otra moneda compatible.

#### **3.1.15 Omni**

Omni Layer es una plataforma Blockchain diseñada especialmente para crear y comercializar activos y monedas digitales personalizados. Es una capa de software construida sobre la cadena de bloques más popular, Bitcoin. Las transacciones de Omni son transacciones de Bitcoin que permiten funciones de

próxima generación en Bitcoin Blockchain. Es uno de los varios esfuerzos para habilitar funciones financieras complejas en una criptomoneda. Omni tiene muchos usos versátiles que proporciona un panorama de activos de criptomonedas en este entorno. El activo omni, siendo el primero en ser introducido en esta red, está a punto de completarse. Bitcoin y varias criptomonedas actúan como una capa base de uso; El proyecto Omni es una capa superior y un punto de referencia para los protocolos de activos.

### Características

- Omni se desarrolló principalmente en la parte superior de la cadena de bloques de bitcoin.
- No es una criptomoneda, pero es una capa que proporciona funciones de intercambio avanzadas como moneda personalizada, comercio descentralizado, contratos inteligentes, etc.
- Al ser una plataforma construida sobre la cadena de bloques BTC, las transacciones pertenecientes a OMNI son registradas y evaluadas por la red Bitcoin. El tiempo de configuración actual es de 100 bloques.

### **3.1.16 Tendermint**

Tendermint forma parte de la red Cosmos, la cual consta de muchas cadenas de bloques paralelas independientes, llamadas zonas. Algunas zonas actúan como centros con respecto a otras zonas, permitiendo que muchas zonas interoperen a través de un centro compartido. La arquitectura es una aplicación más general del concepto de cadenas laterales de Bitcoin, que utiliza los algoritmos clásicos BFT y Prueba de participación, en lugar de Prueba de trabajo. Cosmos puede interactuar con muchas otras aplicaciones y criptomonedas, algo que otras cadenas de bloques no pueden hacer bien. Al crear una nueva zona, puede conectar cualquier sistema blockchain en el centro Cosmos y pasar tokens entre esas zonas, sin la necesidad de un intermediario.

### Características

- Esta plataforma está impulsada por protocolos de consenso clásicos bizantinos con tolerancia a fallas (BFT)

### **3.1.17 AxCore**

También conocida como AXONI, fue fundada en 2013 con el objetivo de revisar la infraestructura de los mercados mundiales de capital. Esa visión se ha convertido en realidad a través del desarrollo intensivo de tecnología y la profunda colaboración con las principales instituciones financieras del mundo. La capa base de la infraestructura distribuida de Axoni es la tecnología AxCore. Sirve como marco subyacente para compartir y sincronizar sin problemas datos entre sistemas e instituciones, manteniendo la privacidad, escalabilidad y auditabilidad requeridas para los mercados de capitales.

Permite establecer una red de blockchain para que las aplicaciones distribuidas se pueden implementar mediante el uso de contratos inteligentes para codificar datos, cálculos y actividades basadas en eventos en la cadena de bloques. Esto garantiza que todas las partes relevantes permanezcan sincronizadas con el valor o el estado de un activo o contrato, independientemente de la complejidad.

### **3.1.18 Nexledger**

Nexledger Universal se caracteriza por proporcionar una API de servicio estandarizado al integrar una amplia variedad de algoritmos de consenso de blockchain. Nexledger cuenta con algoritmo patentado de consenso Nexledger, una plataforma de blockchain empresarial que proporciona una amplia variedad de núcleos de blockchain, incluidos Hyperledger Fabric y Ethereum. Además, puede implementar selectivamente las tecnologías blockchain que necesita y cambiar de manera flexible su núcleo blockchain según sea necesario.

#### Características:

- Permite verificar la creación de los nuevos bloques creados mediante un sistema de monitoreo de gestión.
- Permite automatizar las transacciones mediante el uso de Smart contract.
- Es capaz de gestionar transacciones de gran volumen en tiempo real.

### 3.1.19 Lisk

Lisk (LSK) es una plataforma de aplicación blockchain, establecida a principios de 2016 por Max Kordek y Oliver Beddows. Basado en su propia red Blockchain y token LSK, Lisk permitirá a los desarrolladores crear, distribuir y administrar aplicaciones descentralizadas de Blockchain mediante la implementación de su propia cadena lateral vinculada a la red Lisk, incluido un token personalizado. Lisk cuenta con DAPPS o *Decentralized application* por sus siglas en inglés. Un poderoso componente de la plataforma de aplicaciones Lisk es la capacidad de implementar, distribuir y administrar aplicaciones descentralizadas.

#### Características

- Gracias a la flexibilidad de las cadenas laterales, los desarrolladores pueden implementar y personalizar sus aplicaciones Blockchain por completo.
- Utiliza el lenguaje JavaScript en sus aplicaciones.
- Cuenta con varias aplicaciones descentralizadas basadas en acceso, mercadeo y monetización.

## 3.2 Tipos de aplicación

Ahora se definen las características que ayudarán a saber qué tipos de proyectos se pueden realizar implementando blockchain y se especifican los casos de uso que se pueden resolver mediante las diferentes plataformas de blockchain estudiadas. Las áreas que se analizarán son las siguientes: Sector financiero, redes sociales, apuestas, juegos/esports, identidad, salud, arte y gobierno.

### 3.2.1 Salud

Este es uno de los sectores en el cual los sistemas de blockchain pueden ayudar de una gran manera ya que el cambio digital en esta industria ha sido lento en comparación al proceso de digitalización en otras industrias y esto puede ser debido a la cantidad y sensibilidad de información que se maneja. En la actualidad ya existen proyectos o iniciativas para resolver problemas en el área de salud utilizando tecnología blockchain.

- IBM blockchain ha propuesto pagos en el sistema de salud mediante la utilización de blockchain, entre ellos se implica el pago a proveedores, aseguradoras, etc., para de esta manera tener toda la información en un solo sitio y evitar varios registros.
- MedRec es una aplicación que utiliza blockchain, la cual propone una manera innovadora de almacenar y registrar historias clínicas para que de esta manera los pacientes tengan un acceso fácil a sus registros.

### **3.2.2 Gobierno**

Existen varios escenarios en los cuales blockchain puede contribuir y ser útil en aplicaciones para uso del gobierno.

- Almacenamiento de documentos de votación o nacimiento, etc.
- Almacenamiento de registros.
- Aplicaciones de votación.

### **3.2.3 Arte**

En esta industria siempre han existido problemáticas con respecto a los derechos de autor.

- Existe una propuesta de un registro de transacciones de pinturas, esculturas. Etc. para de esta manera conocer quién es el autor, su origen y si se encuentra en exhibición en algún lugar.
- Ujo es un proyecto el cual está desarrollado mediante tecnología blockchain que permite utilizar una base de datos de *copyright* en la industria musical.

### **3.2.4 Autenticidad**

La autenticidad e identidad es un aspecto muy valioso en el sector financiero. Por lo general para demostrar e identificar a usuarios se necesita de identidades físicas, lo cual hace el proceso ineficiente y más probable a un error. En Canadá se desarrolló un servicio llamado SecureKey Concierge, el cual tiene como objetivo permitir a usuarios poder identificarse utilizando credenciales digitales de distintos tipos, por ejemplo, credenciales bancarias.

### **3.2.5 Sector Financiero**

Actualmente existe una variedad de aplicaciones además de bitcoin que se han popularizado por su capacidad de ejecutar dinero electrónico, existen otros usos y aplicaciones en el sector financiero, para obtener préstamos, aseguradoras. Etc.

En esta categoría también se puede agregar la interacción con varios protocolos y aplicaciones diferentes, muchos pueden tener su propia criptomoneda nativa y, por lo tanto, surgen varias economías nuevas. En cualquier economía con múltiples monedas, existe la necesidad de herramientas para intercambiar una unidad de moneda por otra, facilitando los préstamos, aceptando inversiones, etc.

### **3.2.6 IOT**

El Internet de las cosas (IoT) conecta personas, lugares y productos, y al hacerlo, ofrece oportunidades para la creación y captura de valor. Los sofisticados chips, sensores y actuadores están integrados en elementos físicos, cada uno de los cuales transmite datos a la red IoT. Las capacidades analíticas de IoT utilizan estos datos para convertir información en acción, impactando en los procesos comerciales y dando lugar a nuevas formas de trabajo.

La red IoT puede procesar transacciones de datos a través de múltiples dispositivos que son propiedad y administrados por diferentes organizaciones, lo que dificulta determinar la fuente de cualquier fuga de datos en caso de un ataque de ciberdelincuentes. Además, el IoT genera una gran cantidad de datos, y con la participación de múltiples partes interesadas, la propiedad de los datos no siempre es clara.

Blockchain tiene el potencial de ayudar a abordar algunos de los desafíos de seguridad y escalabilidad de IoT. Blockchain es una ventaja debido a sus capacidades y beneficios únicos. El uso de blockchain para almacenar datos de IoT agregaría otra capa de seguridad que los piratas informáticos tendrían que eludir para obtener acceso a la red. Blockchain proporciona un nivel de cifrado



mucho más robusto que hace que sea prácticamente imposible sobrescribir los registros de datos existentes.

### **3.2.7 Monedas**

Bitcoin fue el primero y es el proyecto más destacado en la categoría, pero existen muchos otros proyectos, los cuales se propusieron mejorar un cierto aspecto del protocolo de Bitcoin o adaptarlo a un caso de uso específico. Existen muchas criptomonedas anónimas e imposibles de rastrear para los usuarios que desean ocultar una transacción porque prefieren no transmitir una determinada compra por un motivo u otro, o para empresas que no desean revelar secretos comerciales.

### **3.2.8 Herramientas de desarrollo**

Existen proyectos dentro de esta categoría que son utilizados principalmente por los desarrolladores como bloques de construcción para aplicaciones descentralizadas. Para permitir que los usuarios interactúen directamente con los protocolos a través de interfaces de aplicación, muchos de los diseños actuales de plataformas de blockchain que existen deben probarse a escala. Los diseños de protocolo sobre escalamiento e interoperabilidad son áreas activas de investigación que serán partes importantes de la pila de desarrollo de Web3. Esta es una de las categorías más interesantes en este momento, tanto por curiosidad intelectual como desde el punto de vista de la inversión. Para muchos de los casos de uso de blockchain, se nos ha prometido dar fruto, como organizaciones autónomas totalmente descentralizadas o una alternativa de Facebook donde los usuarios tienen control de sus propios datos, la infraestructura fundacional y escalable necesita crecer y madurar. Muchos de estos proyectos apuntan a hacer precisamente eso.

### **3.2.9 Soberanía**

La soberanía es otra área que interesa mucho en este momento. Si bien las cadenas de bloques aún sufren problemas de escalabilidad y rendimiento, el valor proporcionado por su arquitectura confiable puede reemplazar los problemas de rendimiento cuando se trata de datos confidenciales; la custodia

de la cual nos vemos obligados a depender de terceros por hoy. A través de la cripto economía, los usuarios no necesitan confiar en ningún individuo u organización, sino en la teoría de que los humanos se comportarán racionalmente cuando se los incentive correctamente.

Los proyectos en esta categoría proporcionan la funcionalidad necesaria para un mundo donde los usuarios no están obligados a confiar en ninguna persona u organización, sino en los incentivos implementados a través de la criptografía y la economía.

### **3.2.10 Datos compartidos (Shared data)**

Una forma de pensar sobre el modelo de capa de datos compartidos es mirar los Sistemas de Distribución Global (GDS) de la industria de las aerolíneas. Los GDS son un almacén de datos centralizado donde todas las aerolíneas envían sus datos de inventario para coordinar mejor toda la información de suministro, incluidas las rutas y los precios. Esto permite a los agregadores como Kayak y otras compañías en el espacio desplazar a los agentes de viajes tradicionales al construir un front-end sobre estos sistemas en el que los usuarios puedan realizar transacciones.

La otra forma de pensar acerca de los protocolos de datos compartidos puede describirse mejor utilizando una empresa centralizada, como Premise Data, como ejemplo. Premise Data despliega colaboradores de la red que recopilan datos de más de 30 países, sobre todo, desde el consumo específico de alimentos / bebidas hasta los materiales utilizados en una geografía específica. La compañía utiliza el aprendizaje automático para extraer información y luego vende estos conjuntos de datos a una variedad de clientes. En lugar de encontrar y contratar personas para recopilar estos conjuntos de datos, se podría iniciar un proyecto que permita a cualquiera recopilar y compartir, anotar los datos y construir diferentes modelos para extraer información.

## 4. Metodología de la clasificación

El desarrollo de la clasificación se lo realiza mediante el estudio de las diferentes plataformas de blockchain y proyectos académicos en los cuales se identifican características de dichas plataformas.

Después de seleccionar un grupo de plataformas, sus características principales y escenarios de uso, se procede a realizar la clasificación.

### 4.1 Desarrollo de la clasificación

Como resultado de los análisis realizados se presenta las características que se utilizan para diferenciar y agrupar a las plataformas de blockchain. Esta clasificación ayudará a escoger una plataforma en el momento de querer utilizarlo para un caso específico.

#### 4.1.1 Características principales

Estas son las características más importantes, las cuales facilitarán el proceso de elección y permitirán determinar si una plataforma es indicada para algún uso particular. Ejemplo, si en una aplicación en la cual se desea implementar blockchain se requiere procesar transacciones en cierto tiempo específico, las transacciones que no cumplan con dicha característica en la casilla de tiempo de transacción, serán descartadas.

Tabla.7.

*Características identificadas de una plataforma blockchain*

Características	Descripción
Permissionada	Se especifica si hay restricciones o cualquier nodo que desee puede unirse e ingresar a la red.
Interoperabilidad	Habilidad de unirse o comunicarse a diferentes sistemas que no formen parte de la red

Desempeño	Tiempo de transacciones posibles a ejecutar por segundo y el tiempo en que tarda la confirmación de esta.
Tolerancia a fallos	Propiedad para seguir funcionando correctamente en caso de que exista una falla inesperada, lo cual garantice la seguridad de los datos guardados.
Contratos Inteligentes	Se especifica si la plataforma soporta la opción de Smart contract y en caso de que sí, se identifique que tipo de contratos inteligentes (turing completos o verificables)
Manejo de Identidad	Que mecanismos se manejan para controlar el acceso a la red.
Seguridad y privacidad de la Información	Como se preserva la confidencialidad, disponibilidad de la información e integridad y que mecanismos se utilizan. Ya sean mecanismos de encriptación, etc.
Criptomoneda	Se especifica si la plataforma involucra el concepto de criptomonedas o cryptocurrency, ya sea para el intercambio, ejecución de contratos inteligentes o incentivos.
Consenso	Algoritmos o mecanismos de consenso que se utilizan en la plataforma, y si existe la posibilidad de utilizar más de uno o cambiarlo.
Protocolo de Comunicación	Protocolo que se utiliza para la comunicación entre los diferentes nodos de la red

Incentivos	Ciertas plataformas cuentan con incentivos para los nodos que son responsables de ciertos procesos.
Entorno de ejecución	Aplicación, núcleo de ejecución o sistema operativo.
Tipos de nodos	Especifica roles puntuales en algunos nodos.
Costo o Precio	Costos que puedan surgir del uso de la plataforma, ya sea por la red o para acceder a algún tipo de API para las aplicaciones sobre blockchain.

**Permisiónada:** esta característica puede tener 3 opciones:

- La plataforma acepta desarrollar redes que sean públicas o privadas
- La plataforma solo acepta redes públicas.
- (redes públicas o permisónadas)

**Interoperabilidad:** Como se mencionó en la tabla es la habilidad de la red de poder interactuar con sistemas externos, Se debe al diseño de la plataforma. Los valores posibles son los siguientes:

- Interoperabilidad Implícita: Habilidad para comunicarse con APIs e interfaces externas mediante un contrato inteligente.
- Interoperabilidad Explícita: Esta característica nos menciona si existe alguna manera en especial para poder interactuar con redes externas.

**Desempeño:** Se definen dos medidas para poder determinar el desempeño de esta plataforma.

- Tiempo de transacción: Confirmación de la transacción en tiempo estimado, es decir cuando toma lugar hasta cuando finaliza y es encontrada en el libro mayor.
- Transacciones por segundo: Cantidad estimada de transacciones o confirmaciones por segundo.

**Tolerancia a fallas:** En tecnología blockchain, la tolerancia a fallos se define y está ligado a los mecanismos de consenso que se utilizan. En caso de que no exista un mecanismo de consenso y sea una organización centralizada la cual tome la decisión de cuales transacciones incluir a la cadena de bloques, no existiría esta característica en la red, en cambio sí existe consenso y es PoW (ejemplo) se tendría tolerancia a fallas bizantinas.

**Contratos Inteligentes:** Son componentes que han adquirido popularidad en la tecnología blockchain.

- Turing completos
- Verificables
- No posee contratos inteligentes

**Manejo de identidad:** Como se mencionó en la tabla, es el control al acceso de la red y se define si existen o no mecanismos para identificar a los participantes. Se puede dividir en dos categorías.

- Control de acceso: Aplica a redes permissionadas.
- Identidad: Habilidad para reconocer a usuarios o entidades para que sean identificados por un nodo al momento de querer acceder a los datos.

**Seguridad y Privacidad:** Las plataformas Blockchain garantizan la seguridad de diferentes maneras, se identifican dos:

- Mecanismos de encriptación: Existen diferentes mecanismos, TLS es uno de ellos.
- Control de identificación e ingreso al libro mayor: Si existe alguna tecnología que restrinja el ingreso, en otras palabras, si la mayoría o todos los nodos pueden o no tener acceso a las transacciones.

**Involucra criptomonedas:** Valores posibles:

- Si involucra criptomonedas
- No involucra criptomonedas

**Consenso:** Aquí se define el mecanismo de consenso que utiliza y si puede ser intercambiable o no.

**Protocolo de comunicación:** Aquí se indica que protocolo es utilizado por los nodos de la red para la comunicación.

**Incentivos:** Si indica si existen incentivos, por lo general las blockchain públicas los dan ya sea por añadir bloques (mineros) por transacciones o al ejecutar contratos inteligentes.

**Entornos de Ejecución:** Existen plataformas que implementan su propia máquina virtual en el cual se ejecutan los nodos, por ejemplo, Ethereum tiene un VM denominada Ethereum Virtual Machine y posee diferentes restricciones, corda también posee su propia VM.

#### **Tipos de Nodos:**

- Oráculo: Este Nodo se caracteriza porque posibilita la obtención de información de redes externas.
- Verificador: Nodo responsable de comprobar que todas las transacciones cumplan con lo especificado.
- Portero: Nodo responsable de supervisar el ingreso a la blockchain, mediante la identidad e identificación de los diferentes nodos de la red.
- Ordenador: Este nodo es responsable del orden en que son ejecutadas las transacciones.
- Pares comunes: Estos nodos se encargan de la comunicación con los demás nodos de la red.
- **Costo:** Ciertas plataformas Blockchain tienen algún costo por uso o capacidad para construir la red o el API que utiliza para poder implementar las aplicaciones, también pueden cobrar por ejecutar transacciones.

#### **4.1.2 Características Secundarias**

Estas son las características que aportarán información adicional en caso de que no se llegue a un acuerdo con las características principales, ya que puede que existan plataformas que en las características principales se encuentren totalmente igual.

Tabla.8.

*Características Secundarias identificadas de las plataformas Blockchain*

Característica	Descripción
Usabilidad	Lenguaje de programación o tipo de API, GUI que pueda utilizar el principal del nodo para el manejo del mismo.
Proyectos/Investigaciones	Áreas de investigaciones o proyectos abordados con el uso de la plataforma.
Soporte y Documentación	Código abierto o no, se especifica si se puede encontrar documentación técnica y si está disponible en internet.
Tiempo	Se especifica la madurez, tiempo del primer y último commit.
Proveedor	En caso de que exista alguna entidad que sea proveedora de la plataforma.
Gobernanza abierta	Existe alguna entidad que posea o gobierne la plataforma.
Bifurcación	En caso de que la plataforma este desarrollada o se base a partir de otra plataforma que ya exista.

**Usabilidad:** En esta característica se identifican dos valores

- Tipo de API: Se refiere al Lenguaje en el que está escrito la tecnología o el protocolo que se desarrolla dentro de la API.
- GUI: Si existe o no una interfaz gráfica que permita interactuar al responsable del nodo de una manera más fácil.



**Proyectos / Investigaciones:** Se especifica si existen organizaciones que se encuentren desarrollando o evaluando potenciales escenarios de negocios o usos específicos de dicha plataforma blockchain.

**Soporte y documentación:** Se especifica si es de código abierto y la documentación técnica son características con las que cumple esta plataforma. Adicionalmente se detalla la comunidad de dicha plataforma, si existe algún grupo o comunidad que utilicen y compartan los conocimientos en diferentes páginas web. (GitHub, Twitter, slack)

#### 4.1.3 Características de los escenarios de uso

En esta sección se identifican las características importantes que poseen los escenarios de uso o tipos de aplicación especificados en la sección 3.2 los cuales se identificaron como casos de uso que se pueden resolver mediante las diferentes plataformas de blockchain.

En la tabla 9 se mencionan las características para tener en cuenta para el correcto estudio y relación de los casos de uso con las diferentes plataformas blockchain.

Tabla.9.

##### *Posibles características de un escenario de uso*

Característica	Descripción	Valores
Información para manejar	Esta característica se refiere al tipo de información que es necesario transferir.	Información Sensible: Si el tipo de información que se maneja debe tener restricción y no puede ser leída por cualquier usuario. Información No Sensible: La información manejada no posee restricciones.
Identificación de los usuarios	Esta característica define si es necesario o	Necesaria: Se necesita conocer la identidad de

	no un mecanismo que permita la identificación de los diferentes usuarios de la red.	los usuarios o entidad que controla el nodo.  No Necesaria: No se necesita saber quién controla la red y puede ser anónimo, al mismo tiempo que todos tienen los mismos privilegios en la blockchain.
Acceso a la Información	Aquí se define si la información debe ser disponible por todos los participantes de la red o restringida a ciertos usuarios.	Acceso Global: Información accesible para todos los usuarios. Acceso Restringido: La información debe estar disponible para ciertos usuarios seleccionados.
Velocidad de Transacciones	Se identifica los requerimientos de desempeño del caso de uso a implementar en relación con las transacciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En Tiempo Real: Tiempo real hasta un minuto</li> <li>- &gt; 1 minuto</li> </ul>
Volumen de las Transacciones	Se identifican el requerimiento de transacciones por segundo que se puede realizar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En el uso que se le dará no se necesita más de 1000 transacciones por segundo.</li> <li>- Se requieren entre 1000 y 3000 transacciones por segundo.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se requieren más de 3000 transacciones por segundo.</li> </ul>
Interconexión con sistemas externos	Se define si se requiere implementar la red con algún sistema ya existente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El escenario requiere interconexión con sistemas existentes.</li> <li>- El escenario no requiere interconexión con otros sistemas.</li> </ul>
Uso de Criptomonedas	Necesidad de usar una criptomoneda propia de la blockchain.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si es necesario utilizar una criptomoneda para el funcionamiento.</li> <li>- No es necesario.</li> </ul>
Tolerancia a Fallas	Se refiere al impacto e importancia de una falla en el sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacto Alto (Pérdida de dinero, tratamientos médicos)</li> <li>- Impacto bajo</li> </ul>

## 5. Análisis

En esta sección se identifican las características definidas para las plataformas de blockchain seleccionadas y las características de los escenarios de uso para que se pueda realizar una comparación y poder escoger una blockchain que pueda ser asociado con el caso de uso elegido.

### 5.1 Análisis de la clasificación

La clasificación y comparación de las plataformas es uno de los objetivos principales del estudio y se encuentra explicado en esta sección por una tabla, en la cual se muestran diferentes plataformas blockchain y sus características. Cada plataforma blockchain tiene un valor en las celdas de las características especificadas.

En la sección 3.4.1 se desarrolla la definición de las características que puede tener cada plataforma. La tabla está distribuida de tal manera que se puedan encontrar las características principales, seguidas de las características menos relevantes o secundarias según el orden en sus respectivas columnas.

En la tabla 10 se indican las 19 plataformas blockchain y algunas de las características para el posterior análisis, si es permissionada o no y el tipo de interoperabilidad que tiene, en caso de poseerlo. La interoperabilidad en las plataformas permissionadas o privadas todavía permanece inmadura, ya que en la actualidad la mayoría de las plataformas blockchain no pueden comunicarse entre sí. Sin embargo, las blockchain públicas son las que han abordado de una mejor manera este tema y actualmente en las permissionadas han adaptado este sistema ya que es una forma sostenible de interactuar e integrarse. La blockchain que tiene un mejor desarrollo en lo que se refiere a interoperabilidad es ETHEREUM, ya que permite que varios sistemas o redes blockchain puedan conectarse a su red.

Mientras se analiza alguna característica en especial de una plataforma, es posible realizar una comparación con las demás plataformas Blockchain.

Tabla.10.

*Análisis de las plataformas según las características permitida e interoperabilidad.*

<i>Plataforma</i>	<i>Permitida</i>	<i>Interoperabilidad</i>	
		<u>Implícita</u>	<u>Explícita</u>
<b>Ethereum</b>	-	-	X
<b>Ripple</b>	X	-	X
<b>Multichain</b>	X	-	X
<b>Hyperledger</b>	X	X	X
<b>EOS</b>	-	-	-
<b>Cardano</b>	-	-	X
<b>Corda</b>	X	X	X
<b>Stellar</b>	-	-	X
<b>NEM</b>	X	-	-
<b>BigChainDB</b>	-	-	X
<b>OpenChain</b>	X	-	X
<b>NEO</b>	-	X	X
<b>Stratis Platform</b>	X	-	-
<b>Waves</b>	-	X	X
<b>Omni</b>	-	-	-
<b>Tendermint</b>	-	-	X
<b>AxCore</b>	-	-	-
<b>Nexledger</b>	X	-	-
<b>LISK</b>	-	-	X

Además, la tabla contiene columnas que permiten diferenciar el desempeño e implementaciones que posee una plataforma en particular. El desempeño es posible medirlo mediante tiempos de confirmación y cantidad de transacciones que se pueden realizar en un segundo. Para este caso está especificado el desempeño de cada plataforma para así determinar de manera más sencilla que plataforma puede ejecutar un número mayor de transacciones en el menor tiempo posible.

La tolerancia a fallas bizantinas es una característica que la cumplen la mayoría de las plataformas ya que es uno de los errores más habituales en los sistemas informáticos distribuidos y puede causar que un servidor deje de funcionar, pero debido a los diferentes errores, el observador puede tomar mucho tiempo declararlo fallido y excluirlo de la red. La columna de contratos inteligentes detalla la posibilidad de implementar contratos inteligentes de tipo Turing completo o verificables. Es posible observar lo mencionado en la tabla 11.

Tabla.11.

*Análisis de las plataformas según sus características de desempeño, Tolerancia a fallas bizantinas e implementación de contratos inteligentes*

Plataforma	Desempeño		Tolerancia a fallas Bizantinas	Contratos Inteligentes	
	Tiempo de transacción	Transacciones por segundo		Turing Completo	Verificables
<b>Ethereum</b>	3 min	15	X	X	X
<b>Ripple</b>	4seg	1500	X	-	-
<b>Multichain</b>	5-10 seg	2500	-	-	-
<b>Hyperledger</b>	< 1sg	>3500	X	X	-
<b>EOS</b>	1 sg	>3000	X	-	-
<b>Cardano</b>	20 seg	10-15	X	X	X
<b>Corda</b>		1000-1800	X	X	-
<b>Stellar</b>	3-5 sg	1000-10000	X	-	-
<b>NEM</b>	20sg	3000	X	-	-
<b>BigChainDB</b>	2 sg	600	X	-	-
<b>OpenChain</b>	?	?	X	-	X
<b>NEO</b>	15-20sg	1000	X	X	-
<b>Stratis Platform</b>	1 min	>20000	-	X	-
<b>Waves</b>	<30 sec	>1000	-	X	X
<b>Omni</b>	?	10000	-	X	-
<b>Tendermint</b>	1 seg	10000	X	-	-
<b>AxCore</b>	?	?	-	-	-
<b>Nexledger</b>	?	15000	-	-	-
<b>LISK</b>	10 seg	2.5	-	-	-

En la tabla 12 Se puede observar dos de las características que ayudan a identificar la seguridad y el tipo de acceso a la información que se puede tener en las plataformas de blockchain estudiadas, dichas características mencionan

los diferentes mecanismos de control de acceso, seguridad y confidencialidad que se pueden implementar para poder llegar a una decisión en caso de que el escenario de uso maneje información sensible o restringida y se requiera una plataforma con mayor seguridad. Además, se puede observar la columna Criptomonedas, la cual especifica si la plataforma en mención maneja o no su propia criptomoneda, la cual se puede utilizar en aplicaciones para el intercambio de bienes, incentivos a usuarios o aplicaciones financieras.

Tabla.12.

*Análisis de las plataformas según sus características de Manejo de Identidad, Seguridad y criptomonedas*

Plataforma	Manejo de Identidad		Seguridad y Privacidad		Criptomonedas
	Control de acceso a la red	Identidad	Encriptación	Control de acceso al libro mayor	
<b>Ethereum</b>	-	-	TLS	Opcional	X
<b>Ripple</b>	SSO	X	-	Obligatorio	X
<b>Multichain</b>	LDAP	X	-	Obligatorio	X
<b>Hyperledger</b>	LDAP, Open ID	X	TLS	Opcional	-
<b>EOS</b>	-	Para nodos de Validación	-	Opcional	X
<b>Cardano</b>	-	-	TLS	Opcional	X
<b>Corda</b>	LDAP, Active Directoru	-	TLS	Obligatorio	-
<b>Stellar</b>	-	-	-	Opcional	X
<b>NEM</b>	-	X	TLS	Obligatorio	X
<b>BigChainDB</b>	-	-	-	Opcional	-
<b>OpenChain</b>	SSO	X	-	Obligatorio	X
<b>NEO</b>	SSO	X	TLS	Opcional	X
<b>Stratis Platform</b>	Open ID	X	-	Obligatorio	X
<b>Waves</b>	Open Id	-	TLS	Opcional	X
<b>Omni</b>	LADP	-	-	Opcional	-
<b>Tendermint</b>	LDAP	-	-	Opcional	X
<b>AxCore</b>	-	-	TLS	Opcional	X
<b>Nexledger</b>	-	X	TLS	Obligatorio	-
<b>LISK</b>	-	X	TLS	Opcional	X

El consenso que utiliza la plataforma es uno de los puntos más importantes ya que permiten mantener la seguridad y eficiencia en la blockchain. Existen varios algoritmos o mecanismos de consenso y cada uno tiene un impacto diferente en

el rendimiento, eficiencia y escalabilidad de la plataforma blockchain. En la Tabla 13 se puede observar los mecanismos de consenso que se utilizan y si las plataformas estudiadas permiten realizar un intercambio dependiendo del requerimiento de la aplicación o escenario en el que se desea implementar. Adicionalmente se observa una columna de Protocolos de Comunicación e incentivos, en caso de que las plataformas cuenten con esta característica.

Tabla.13.

*Consensos y protocolos de comunicación que utilizan cada plataforma*

Plataforma	Consenso		Protocolo de Comunicación	Incentivos		
	Intercambiable	Mecanismo		Por bloque	Por Transacción	Por ejecución de CI
Ethereum	-	Proof of Work	DEVP2P/RLP	X	X	X
Ripple	-	Byzantine Consensus	HTTP	X	X	-
Multichain	-	Round Robin Validation	HTTP	-	-	-
Hyperledger	X	kafka	Google RPC/HTTP2	N/A	N/A	N/A
EOS	-	Prueba de participación delegada	?	X	-	X
Cardano	-	Prueba de participación Ouroboros	DHT Protocol	X	X	X
Corda	X	Validez y Unicidad	AMQP sobre TLS	N/A	N/A	N/A
Stellar	-	Acuerdo Bizantino Federado	?	-	X	-
NEM	-	Prueba de Importancia	HTTP	-	X	N/A
BigChainDB	-	Proof Of Stake	HTTP	-	-	-
OpenChain	-	dPOS	HTTP	-	X	-
NEO	X	dBFT	RPC/HTTP/HTTPS	-	X	-
Stratis Platform	-	Proof Of Stake	DHT Protocol	-	X	-
Waves	-	Proof Of Stake	RPC/HTTP/HTTPS	X	X	-
Omni	-		DHT Protocol	-	-	-
Tendermint	-	Proof Of Stake	IBC (Inter Blockchain Communication)	-	X	-
AxCore	-	Nativo	~	-	-	-
Nexledger	X	NCA	HTTP/HTTPS	-	-	-
LISK	-	dPoS	HTTP/HTTPS	-	X	-

La Tabla 14 muestra la última parte de la tabla y se puede observar las características secundarias de las plataformas blockchain estudiadas. Se puede concluir que todas estas plataformas son de código abierto y tienen un costo para



realizar su implementación. Además, poseen soporte y documentación técnica que se encuentra disponible en internet.

Tabla.14.

*Características Secundarias de las plataformas blockchain estudiadas.*

Plataforma	Entorno de Ejecución	Costo	Usabilidad		Soporte y Documentación		Gobernanza Abierta
			Tipo API	Interfaz Gráfica	Código Abierto	Documentación Técnica	
Ethereum	EVM	X	REST	X	X	X	-
Ripple	-	X			X	X	-
Multichain	Docker	X	RPC	X	X	X	-
Hyperledger	Docker	X	Grpc	X	X	X	X
EOS	Intercambiable	X	REST	X	X	X	X
Cardano	IELE	X	REST	X	X	X	-
Corda	JVM	X	RPC	X	X	X	-
Stellar	N/A	X	REST	X	X	X	-
NEM	Docker	X	REST	X	X	X	-
BigChainDB	Docker	X	ROOT	X	X	X	-
OpenChain	JVM	X	REST	X	X	X	-
NEO	-	X	RPC	X	X	X	-
Stratis Platform	-	X	RPC	X	X	X	-
Waves	Docker	X	REST	X	X	X	-
Omni	-	X	RPC	X			-
Tendermint	Docker	X	RPC	X	X	X	-
AxCore	-	X	RPC	X	X	X	-
Nexledger	-	X	Testnet	X	X	X	-
LISK	Docker	X	Testnet	X	x	x	-

Definiendo un ejemplo con el uso de la tabla, se puede seleccionar la plataforma CARDANO para su análisis, se puede llegar a la conclusión , que es una plataforma pública, que dispone de tolerancia a fallas bizantinas, con la opción de incorporar contratos inteligentes de tipo turing completo y verificables, no es

posible tener un control de acceso a la red pero maneja encriptación TLS y como todas las plataformas estudiadas, posee documentación técnica disponible en internet y es de código abierto.

De la misma manera que se realizó la clasificación de las características para las plataformas Blockchain, se identificaron las correspondientes características para los escenarios de uso, las mismas que fueron definidas en el punto 3.4.2.

## 5.2 Análisis de Escenarios Estudiados

En la sección 3.2 se especifican los posibles usos o tipos de aplicación con respecto a las plataformas blockchain. En la tabla 15 es posible observar el análisis realizado de las plataformas y sus posibles aplicaciones y en la última columna se muestra la blockchain recomendada.

Tabla.15.

*Escenarios y posibles plataformas adecuados.*

<b>Escenario</b>	<b>Descripción</b>	<b>Posible Plataforma</b>
Salud	Sistema para pagos de servicios de salud, registro y almacenamiento de historiales clínicos descentralizados.	Corda, EOS
Gobierno	Sistemas de Votación Electrónicos, Almacenamiento de documentos	Dash, EOS, NEM, Cardano
Arte	Sistemas para documentación de derechos de autor y Copyright.	Ethereum
Autenticidad	Identificación de Usuarios de una manera segura y eficiente para poder evitar programas tradicionales.	Hyperledger Fabric, NEM
Sector Financiero	Sistemas para la gestión de préstamos, pagos, etc., para tener una solución distribuida	Corda, Hyperledger Fabric, NEM, EOS

	capas de proveer seguridad y privacidad.	
IOT	El uso de blockchain para almacenar datos de IoT agregaría otra capa de seguridad que los piratas informáticos tendrían que eludir para obtener acceso a la red.	EOS
Monedas	Sistemas que pueden involucrar el intercambio de divisas o criptodivisas, compras, etc.	EOS, BigChainDB, OpenChain, Cardano
Herramientas de Desarrollo	Proyectos utilizados por desarrolladores para la creación de sistemas descentralizados.	EOS, Lisk, NEO, Hyperledger Fabric
Soberanía	Sistemas para solucionar problemas de rendimiento y confianza mediante los incentivos implementados a través de la criptografía y la economía.	Hyperledger Fabric
Datos Compartidos		Waves, Nexledger

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

Este análisis se lo puede catalogar como una guía específica acerca de ciertas plataformas de blockchain y sus características para su clasificación y posterior implementación en potenciales escenarios de uso en los que sea posible según los requerimientos, tomando en cuenta las ventajas y desventajas que pueda tener cada plataforma sobre dichos escenarios.

A lo largo de este estudio se logra diferenciar las características principales y secundarias para tener en cuenta sobre la tecnología blockchain y se seleccionan diferentes plataformas para comparar y poder seleccionar una plataforma óptima para un escenario específico. Esto se lo puede observar mediante una tabla, la cual permite comparar diferentes plataformas mientras se observan las características principales.

La tecnología blockchain se ha caracterizado en los últimos años por su complejidad y crecimiento masivo en muchos sectores, ya sean de ámbito público o privado, es por esta razón que a menudo aparecen nuevos proyectos sobre plataformas con características diferentes. Dejando a un lado las criptomonedas, esta tecnología tiene un gran potencial con respecto a temas como la descentralización, seguridad, confianza, transparencia, etc, pero se ve expuesta a ciertas vulnerabilidades y retos como son la interoperabilidad, estandarizaciones, retos judiciales e impacto al medio ambiente.

Para la elaboración de la clasificación, se analizaron 19 plataformas blockchain y se identificaron 10 escenarios de uso o tipos de aplicación en los cuales a lo largo de estos años se han propuesto implementaciones que proponen el uso de blockchain. Este aporte permite ayudar a varias personas, en especial a cierto personal que este dedicado al área de tecnologías, donde no es necesario conocer a fondo este tema tan amplio, pero se puede partir de una idea a través de este análisis de plataformas y selección de alguna para su posterior uso o implementación.

Tras las investigaciones realizadas y el desarrollo de este análisis se puede llegar a la conclusión que debido al potencial de esta tecnología cada vez aparecen más proyectos sobre blockchain, de los cuales muchos se quedan en propuestas y otros siguen avanzando para convertirse en una plataforma importante. Tanto las plataformas públicas como privadas tienen sus respectivas ventajas y desventajas, todo depende del caso o aplicación en la que se requiere utilizar para revisar sus respectivas características, ya que la decisión de elegir entre una plataforma u otra depende de los requisitos.

El principal objetivo es que los aportes de este análisis sean útiles para el entendimiento de la tecnología blockchain, y poder observar sus principales ventajas y limitaciones.

## **6.2 Recomendaciones**

Existen algunos artículos y análisis con respecto a la comparación de distintas plataformas blockchain. Este proyecto pretende analizar las plataformas para poder ser estudiado y tener un enfoque según los requerimientos para escoger una plataforma que funcione de manera más eficiente según el escenario.

Si el escenario a querer utilizar una plataforma blockchain maneja información importante y privada, la mejor solución puede ser una plataforma permissionada, ya que muchos de los aspectos importantes incluyen características de manejo de identidad y acceso a la red, lo cual implementa de una forma importante la seguridad y tolerancia a fallas.

Como idea final se puede decir que en la actualidad existen una variedad de plataformas blockchain. Para poder seleccionar la mejor de estas se debe tener en cuenta los datos que se van a manejar y recolectar en la red.

## Referencias

CHRISTIDIS, K., & DEVETSIKIOTIS, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things.

Pongnumkul, S., Chaiyaphum, S., & Suttipong, T. (2017). Performance Analysis of Private Blockchain.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2017). An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends.

BBVA. (26 de Abril de 2018). BBVA. Recuperado el 15 de Enero de 2020 de <https://www.bbva.com/es/diferencia-dlt-blockchain/>

Brason, D., Penny, D., Goldenberg, D., & Serrao, G. (2018). Blockchain Technology for.

Christidis, K. (2016). Blockchains and Smart Contracts for.

Crosby, M. (2016). capital.com. *BlockChain Technology: Beyond Bitcoin* .

Du, M., Ma, X., Zhang, Z., Wang, X., & Chen, Q. (2017). A Review on Consensus Algorithm of Blockchain .

Ellerve, A., Matulevičius, R., & Mayer, N. (2018). A Comprehensive Reference Model for.

Ivanov, A., Karpus, P., & Gorokhovskiy, K. (2018). TECHNICAL COMPARISON ASPECTS OF LEADING BLOCKCHAIN-BASED PLATFORMS.

Lakshmi, S. S., Sindhu, M., & Sethumadhavan, M. (2017). Survey of Consensus Protocols on Blockchain.

Merit Kõivart, M. P. (2016). Smart Contracts.

Nasir, Q., Qasse, I., & Talib, M. (2018). Performance Analysis of Hyperledger Fabric Platforms.

- NEM. (2019). *NEM*. Recuperado el 19 de Enero de 2019 de NEM: <https://docs.nem.io/en/gen-info/faq/faq-harvesting>
- Oxford. (2019). *Cambridge Dictionary*. Recuperado el 25 de septiembre de 2019 de cambridge: <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles-espanol/blockchain>
- Schollmeier, R. (2002). A Definition of Peer-to-Peer Networking for the Classification of Peer-toPeer Architectures and Applications.
- Ting Kuo, T., Zavaleta, H., & Ohno-Machado, L. (2019). Comparison of blockchain platforms: a systematic review.
- Underwood, S. (2016). *The ACM Digital Library*. Recuperado el 15 de agosto de 2016 de ACM: <https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/2994581>

