

## Estudio comparativo para la selección de una red Blockchain pública para notificaciones certificadas en organizaciones gubernamentales

**Autores:** Álvarez Pizarro, Yuli Andrea\*; Sánchez Galvis, Iván Javier; Zabala Vargas, Sergio Andrés

**Contacto:** \*[yuli.alvarez01@usstabuca.edu.co](mailto:yuli.alvarez01@usstabuca.edu.co)

**País:** Colombia

### Resumen

En el campo de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTI), Blockchain ha emergido como una de las tendencias más importantes en los últimos años debido a su capacidad para proporcionar transparencia, seguridad e inmutabilidad en el intercambio de información. Actualmente, existen más de 1000 plataformas y más de 21.000 criptomonedas registradas, lo que demuestra el creciente interés para transformar una amplia gama de industrias a través de la descentralización y la distribución de datos, así como la forma revolucionaria de realizar transacciones sin intermediarios. Sin embargo, la cantidad de opciones disponibles en el mercado ha creado un desafío para los usuarios que buscan la plataforma adecuada de acuerdo a sus necesidades. Diferencias en la arquitectura, protocolo y tokenización hacen difícil la comparación y la toma de decisiones informadas. Además, existen preocupaciones sobre la escalabilidad, la interoperabilidad y desafíos regulatorios en ciertas jurisdicciones, lo que agrega complejidad a la selección. La elección de una plataforma se vuelve crucial para las empresas que buscan mejorar la confiabilidad de sus procesos y que requieren inmutabilidad en los datos compartidos. Esto varía dependiendo de la industria, y es por esto, que este trabajo presenta un estudio comparativo entre diez redes Blockchain especializadas en el desarrollo de Smartcontracts. El objetivo del estudio es identificar que tecnología se adecua a la propuesta de notificaciones certificadas entre la Comisión de Regulación de Comunicaciones de Colombia y los operadores TIC y Postales regulados en el país. Las redes fueron analizadas con criterios de funcionalidad, velocidad real, tipo y tasa de adopción. De igual forma, se diseñó un modelo para evaluar cada red mediante 4 indicadores que permiten medir la seguridad, escalabilidad, confianza y costo. Al finalizar la metodología cuantitativa de revisión, se seleccionó Zilliqa como la red con mayor valoración obtenida en el modelo planteado.

**Palabras claves:** blockchain; smart contracts; immutability; Zilliqa.

### 1. Introducción

La inmutabilidad, transparencia y en general la seguridad que se requiere en las comunicaciones es un tema de alta preocupación para las organizaciones. La inmutabilidad se refiere a la búsqueda (capacidad) que tiene un proceso de evitar que la información sea modificada o alterada una vez que ha sido enviada o recibida [1]. También, la transparencia es fundamental al considerar que el intercambio de la información sea accesible y comprensible para todos los involucrados en el proceso; es decir que la información sea clara, abierta y verificable. La transparencia es esencial para fomentar la confianza y la rendición de cuentas en las comunicaciones estatales [2].

De otra parte, se encuentra el concepto de seguridad, el cual hace referencia a las prácticas que se implementen en los procesos para garantizar la confidencialidad, disponibilidad e integridad de los datos. Elementos como el cifrado, la autenticación, el control de acceso y la protección contra amenazas son fundamentales [3], [4].

En las comunicaciones estatales (tema central de aplicación del presente artículo) es fundamental asegurar que los mensajes, documentos y cualquier tipo de información no sean manipulados; principalmente para garantizar el debido proceso en el marco de las regulaciones. También que sean comprensibles y con un alto nivel de seguridad. Detalle de estas consideraciones a nivel iberoamericano son presentadas en [5], [6].

El presente artículo se enmarca en el desarrollo de una propuesta de investigación que articula a la academia, representada en la Unidad de Investigación en Telecomunicaciones- UNITEL y el Grupo de investigación Estado, Derecho y Políticas Públicas, de la Universidad Santo Tomás- Bucaramanga (Colombia); con los requerimientos estatales de la Comisión de Regulación de las Comunicaciones- CRC. La propuesta tiene como objetivo el poder generar un modelo, hecho tangible en una herramienta software, que permita potenciar los aspectos previamente citados (inmutabilidad, transparencia y seguridad de la información) en la comunicación que esta entidad tiene con sus stakeholders.

En este sentido, el presente artículo da cuenta de un avance en la implementación de un Smart- Contract (contrato inteligente), al mecanismo de ejecución automática de obligaciones mediante un código computacional, que reduce la ambigüedad propia de todo contrato y la intervención del juicio humano en su ejecución [7]. Este Smart-Contract hace parte constitutiva de una solución integral para la CRC; que cuenta con la incorporación, fruto de la revisión de literatura, de la tecnología Blockchain. Evidencias de la articulación del Blockchain y los Smart-Contract se sintetiza en las revisiones realizadas en [8]–[10]

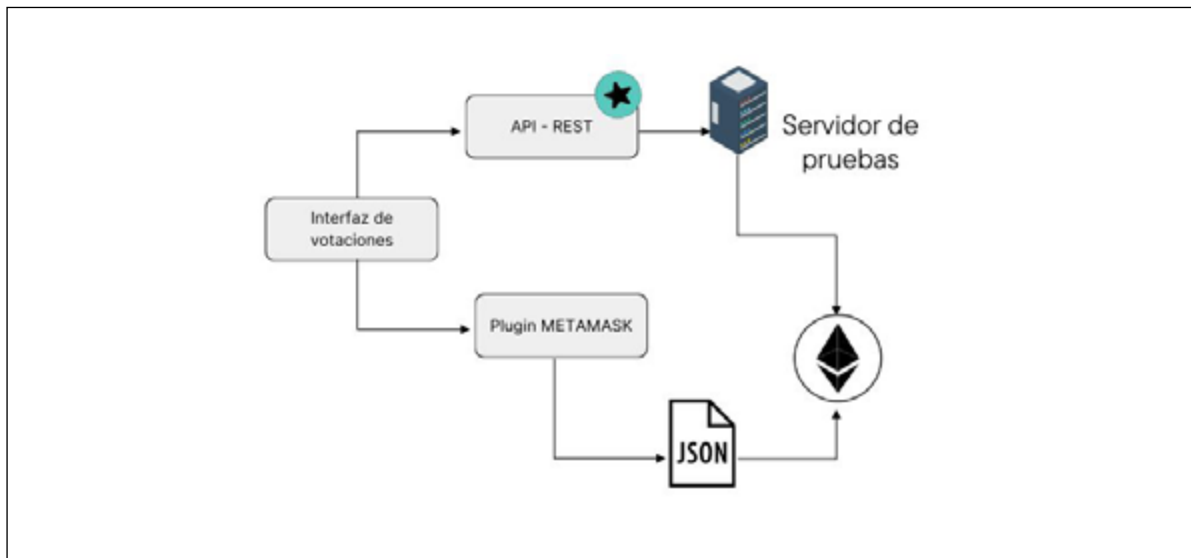
Es así, que el Blockchain es una red descentralizada que sirve de ecosistema para la puesta en marcha de los contratos inteligentes. Los bloques se encuentran identificados con una huella digital denominada hash, junto con una marca de tiempo y la identificación (o hash) del bloque anterior [11]. Por ejemplo, la cadena de bloques de Bitcoin depende de los datos almacenados en el encabezado de cada bloque para organizar la base de datos compartida, que incluye un hash del bloque anterior y una marca de tiempo, creando una cadena organizada secuencialmente y es por esto, que el sistema opera como una base de datos inalterable, replicada y accesible. En los últimos años se han desarrollado iniciativas que buscan explorar el área de actuación. Grandes organizaciones colombianas como el Banco de la República, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones de Colombia (MinTIC), el banco interamericano de desarrollo, universidades, el grupo ISA y CERTIKA han buscado explotar estas tecnologías. Actualmente el MinTIC ha determinado las primeras fuentes bibliográficas de la trazabilidad de modelos basados en Blockchain para pilotos desarrollados en Colombia [12], [13].

## 2. Casos de estudio

### 2.1. Alcaldía de Bogotá

La alcaldía de Bogotá desde el año 2018 ha desarrollado pilotos en diversos proyectos que integren la tecnología Blockchain. En destaque, está el prototipo de software implementado en los colegios distritales de la ciudad, que permite realizar las votaciones de sus representantes escolares de forma descentralizada. La Figura 1 presenta el requerimiento presentado por los responsables del nivel, el área TIC y la Universidad Nacional. El front-end de la aplicación se desarrolló usando Vue.js, un framework de JavaScript al cual se inyectó Web3, un API para manipular la cadena de bloques de la criptomoneda Ethereum y Truffle-contract para implementar contratos inteligentes. En el back-end, se utilizó un API-REST que se ejecutaba en Node.js. De igual forma, Express.js para desarrollar el back y truffle framework para desarrollar la app sobre la red de Ethereum y los contratos inteligentes se realizaron en solidity, un lenguaje de programación para crearlos [14].

FIGURA 1. Diagrama de funcionamiento de la aplicación y conexión con Ethereum



### 2.2. Banco de la Republica y Corda

La red Blockchain de la empresa Corda hace parte de un sistema de registro que procesa datos para la gestión de Smart contracts. Al ser una red privada, esta solo comparte transacciones con nodos que se comunican y un tercero que funciona como un notario, encargado de justificar la transacción. Actualmente el banco de la republica trabaja en un proyecto piloto que permite asegurar la trazabilidad y la inmutabilidad del intercambio de valores [13].

### 2.3. Programa de Alimentación Escolar PAE

La universidad EAN trabaja actualmente en un proyecto que permite trazar y controlar los recursos del PAE. Este, ayuda a combatir la deserción escolar brindando un complemento alimenticio para la atención integral a niños y adolescentes en zonas rurales y áreas urbanas que se encuentran registrados en el sistema de inscripción Simat para estudiantes de colegios oficiales. Esta propuesta pretende enfrentar la corrupción, proporcionando al PAE herramientas que podrían reducir la pérdida de recursos. La metodología implementada en este caso de estudio constó de dos etapas. La primera etapa identificaba los beneficios y desafíos en programas sociales y la segunda, en los inconvenientes existentes entre los actores, beneficiarios, entregas y la trazabilidad. El modelo generado se divide en seis capas. (1) actores, (2) procesos, (3) información, (4) transacciones, (5) contratos inteligentes y (6) registros de Blockchain. El centro del proyecto son los contratos inteligentes y los registros de Blockchain. Los contratos inteligentes son mecanismos automatizados que permiten verificar el cumplimiento de un proceso y los registros de Blockchain son bases de datos encriptadas y distribuidas que almacenan todas las transacciones de la red. Es importante resaltar que para desarrollar redes de Blockchain, se debe caracterizar el modelo de acuerdo a los gestores de control, beneficiarios, actores de la cadena de suministro y definir la red pública y el contenido de cada contrato inteligente. Se evidenció que existen algunas limitaciones para la implementación de este modelo. En primer lugar, es necesario desarrollar la tecnología, contar con la infraestructura. De igual forma, se deben contar con acuerdos y uso de la tecnología, los desafíos técnicos y garantizar la adecuada implementación del modelo y la accesibilidad a la tecnología [15].

### 3. Metodología de selección

Una plataforma Blockchain es un sistema distribuido que permite la creación y gestión de una cadena de bloques, donde se registran transacciones y se almacenan datos de forma segura y descentralizada. El uso de Blockchain para el intercambio de información ha aumentado en popularidad en los últimos años debido a las ventajas que ofrece en términos de seguridad y descentralización. Muchas empresas y organizaciones están explorando cómo utilizar la tecnología para mejorar la transparencia y la confiabilidad en el intercambio de datos. A continuación, se listan algunos de los escenarios en los que las empresas u organizaciones podrían requerir el uso de redes Blockchain.

1. Intercambio de datos entre empresas u organizaciones.
2. Cuando no se cuenta con la credibilidad para que todos los actores encomienden los datos.
3. Se requiere de un sistema completo y confiable que rastree en detalle las transacciones relacionadas con cualquier artículo en un registro contable.
4. Es necesario asegurar la inmutabilidad de los datos.
5. Se requiere un historial compartido de las transacciones.

La selección de una plataforma Blockchain no es una tarea sencilla, debido a la gran cantidad de opciones disponibles. Según [dataconomy.com](https://dataconomy.com), para mediados del 2022 existían más de 1000 plataformas Blockchain y CoinMarketCap reportó que para finales del 2022 existían aproximadamente 21910 criptomonedas [16]. Cada plataforma cuenta con funcionalidades y características únicas que deben ser consideradas al momento de seleccionar una para un proyecto específico. Es importante tener en cuenta varios aspectos al momento de elegir una plataforma Blockchain; algunos de los más importantes son:

- *Velocidad real de la plataforma y tasa de escalabilidad:* La tasa de escalabilidad de una red se refiere a la capacidad de una red Blockchain para aumentar el número de transacciones que se pueden procesar por segundo (TPS, por sus siglas en inglés) sin comprometer la seguridad y la descentralización de la red. Una red con una alta tasa de escalabilidad es capaz de manejar un gran número de transacciones por segundo, lo que la hace adecuada para aplicaciones de alto rendimiento, como los sistemas financieros.
- *Funcionalidad disponible:* Las funcionalidades disponibles en una plataforma Blockchain pueden variar dependiendo del proyecto o la red específica, pero algunas de las funcionalidades más comunes incluyen:
  - **Transacciones:** La capacidad de realizar transacciones financieras, transferir dinero o intercambiar activos digitales.
  - **Smart Contracts:** La posibilidad de crear y ejecutar contratos inteligentes, que son programas que se ejecutan automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones preestablecidas.
  - **Tokenización:** La creación de tokens digitales, que representan un activo o valor en la red blockchain.
  - **Consenso distribuido:** La capacidad de llegar a un acuerdo sobre la veracidad de las transacciones y la integridad de la cadena de bloques mediante mecanismos de consenso distribuido, como el algoritmo de prueba de trabajo o prueba de participación.
  - **Seguridad:** Una alta seguridad y protección contra ataques, ya que las transacciones se registran en bloques que son difíciles de modificar una vez agregadas a la cadena.
  - **Transparencia:** La posibilidad de verificar y auditar las transacciones registradas en la cadena de bloques de forma transparente.
  - **Descentralización:** La capacidad de operar de forma descentralizada, sin la necesidad de una

autoridad central o intermediario para la gestión de la red.

- **Interoperabilidad:** La posibilidad de conectarse e interactuar con otras redes blockchain.
- **Creación de aplicaciones descentralizadas (dApps) o la creación de soluciones de privacidad y anonimato.**
- **Tasa de adopción de la red y la comunidad que la rodea:** La tasa de adopción de una red blockchain se refiere al grado en el cual una red blockchain es utilizada y aceptada por diferentes individuos, organizaciones o industrias. La tasa de adopción puede medirse a través de diversos indicadores, como el número de usuarios activos, la cantidad de transacciones realizadas, el valor de los activos en la red, entre otros. La tasa de adopción de una red blockchain puede ser influenciada por varios factores, como la facilidad de uso, la seguridad, la escalabilidad, la regulación gubernamental, la aceptación y la confianza en la tecnología, entre otros. Una red blockchain con una alta tasa de adopción es considerada como una red madura y estable, y tiene más posibilidades de ser utilizada para fines comerciales y financieros. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la tasa de adopción de una red blockchain no siempre es directamente proporcional al valor de su criptomoneda asociada, ya que algunas redes blockchain son utilizadas principalmente para fines no monetarios, como la gestión de identidades o la creación de aplicaciones descentralizadas.
- **Seguridad de la plataforma:** Las plataformas Blockchain utilizan protocolos de consenso para que permitan a los nodos de una red blockchain llegar a un acuerdo sobre la veracidad de las transacciones y la integridad de la cadena de bloques. Estos protocolos son esenciales para garantizar la seguridad y la confiabilidad de una red blockchain. A continuación, se describen algunos de los protocolos de consenso más comunes utilizados en blockchain:
  - **Prueba de trabajo (PoW):** Este es el protocolo de consenso original utilizado en Bitcoin. En PoW, los mineros deben resolver un problema matemático complejo para crear un bloque, y el primer minero en resolverlo es recompensado con una cierta cantidad de criptomoneda. Este proceso requiere una gran cantidad de energía y puede ser costoso, pero garantiza una alta seguridad en la red.
  - **Prueba de Participación (PoS):** En PoS, los nodos deben tener una cierta cantidad de criptomoneda para poder participar en la creación de bloques. Los nodos son seleccionados de manera aleatoria para crear bloques, y cuanto más criptomoneda tenga un nodo, mayor será su probabilidad de ser seleccionado. Esta estrategia es más eficiente en términos de energía y menos costosa que PoW.
  - **Delegated Proof of Stake (DPoS):** En DPoS, los nodos son elegidos por la comunidad para crear bloques, y estos nodos, conocidos como "delegados" son responsables de la validación de las transacciones. Es considerado un protocolo más rápido y escalable que PoS o PoW.
  - **Byzantine Fault Tolerance (BFT):** En BFT, un grupo de nodos validadores es elegido para tomar decisiones en la red. Es un protocolo más rápido y escalable que PoS o PoW y se basa en la teoría de los sistemas distribuidos.
  - **Delegated Byzantine Fault Tolerance (dBFT):** Es un protocolo de consenso similar al BFT, pero se basa en la delegación de poder de los nodos, es decir, los nodos delegados son los encargados de validar las transacciones. Es un protocolo más rápido y escalable que BFT.
- Cada uno de estos protocolos tiene sus propias ventajas y desventajas, y el protocolo de consenso utilizado depende del proyecto específico y de los objetivos de la red.
- **Tipo de plataforma (Pública, Privada o Mixta):** En una red privada, solo los empleados o socios de la empresa propietaria del libro mayor pueden unirse, leer y agregar datos al libro mayor. Por otro lado,

en las redes públicas cualquiera puede unirse a una red pública y participar en la validación de las transacciones de la red, y tener los mismos derechos que otros usuarios. Las redes privadas son más rápidas que las redes públicas. Debido a que requieren menos usuarios para llegar a un consenso por lo que las transacciones se procesan y validan muy rápidamente. Por lo general las redes públicas ofrecen mayor transparencia dado que el software es de código abierto y también está disponible para todos los usuarios. Además, cada usuario es anónimo: para probar su identidad, utilizan un código criptográfico único para cada usuario conocido como claves públicas y privadas.

A seguir se presentan las principales diferencias fundamentales entre las redes blockchain públicas, privadas y mixtas:

- **Accesibilidad:** Las redes blockchain públicas son completamente abiertas y cualquier persona puede participar en ellas, mientras que las redes blockchain privadas son restringidas y solo ciertas personas o entidades tienen acceso a ellas. Las redes blockchain mixtas combinan ambos aspectos, permitiendo a ciertos participantes tener acceso restringido mientras que otros tienen acceso completo.

- **Consenso:** Las redes blockchain públicas suelen utilizar algoritmos de consenso descentralizados, como el Prueba de Trabajo (PoW) o el Prueba de Participación (PoS), mientras que las redes blockchain privadas pueden utilizar algoritmos de consenso centralizados o descentralizados. Las redes blockchain mixtas también pueden utilizar una variedad de algoritmos de consenso.

- **Escalabilidad y rendimiento:** Las redes blockchain públicas a menudo tienen problemas de escalabilidad debido a la gran cantidad de nodos y transacciones, mientras que las redes blockchain privadas suelen tener un mejor rendimiento debido a una menor cantidad de nodos y transacciones. Las redes blockchain mixtas pueden tener un equilibrio entre escalabilidad y rendimiento.

- **Seguridad:** Las redes blockchain públicas son generalmente consideradas como muy seguras debido a la complejidad de la red y el gran número de nodos, mientras que las redes blockchain privadas pueden ser menos seguras debido a la posibilidad de ataques centralizados. Las redes blockchain mixtas pueden tener un equilibrio entre seguridad y accesibilidad.

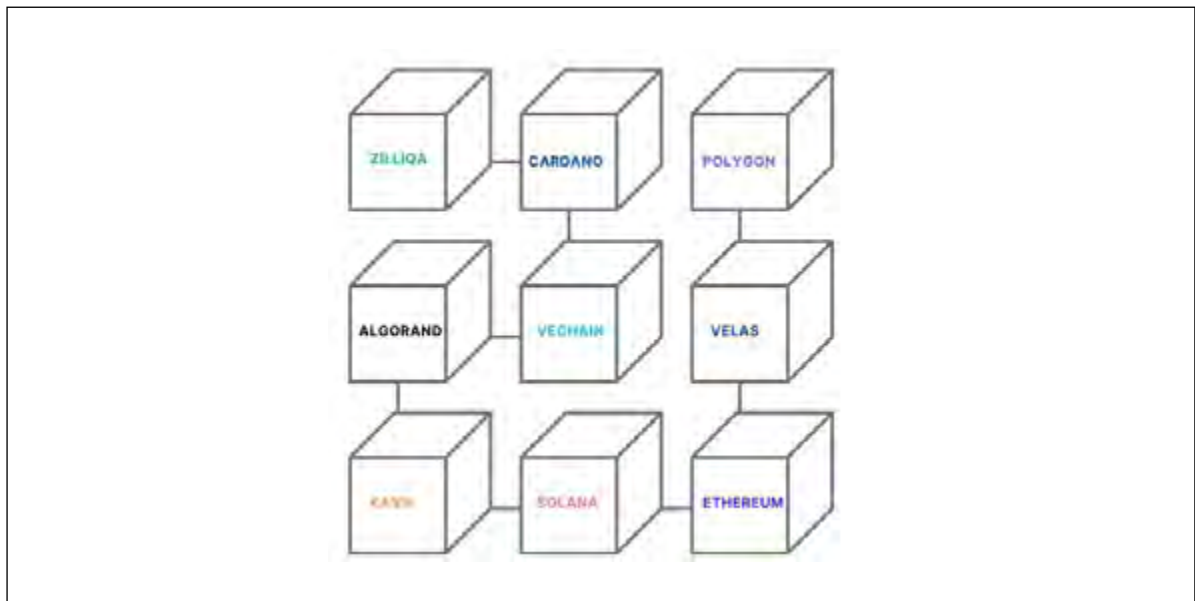
- **Uso:** Las redes blockchain públicas son utilizadas para una variedad de propósitos, como el comercio de criptomonedas, los contratos inteligentes y la creación de tokens, mientras que las redes blockchain privadas a menudo son utilizadas por empresas y organizaciones para fines internos, como la gestión de activos y la auditoría interna. Las redes blockchain mixtas son utilizadas para una variedad de propósitos, como la gestión de activos y la creación de tokens, y permiten a las empresas y organizaciones aprovechar las ventajas de ambos tipos de redes

- **Número de nodos:** El número de nodos en una red blockchain puede tener un impacto significativo en la descentralización, seguridad, rendimiento y escalabilidad de la red, y puede ser un factor importante para considerar al elegir qué tipo de red utilizar para una determinada aplicación o uso. Cuantos más nodos haya en la red, más difícil será manipular los datos en la cadena de bloques o el propio nodo. Cuanto más grande es la red, más tiempo lleva confirmar una transacción y lograr el consenso entre los nodos.

#### 4. Resultados y análisis

En la sección anterior se mencionó la importancia de analizar diversos aspectos al momento de elegir una plataforma Blockchain. Para lograrlo, se realizó una preselección de 10 plataformas públicas que incluyen la funcionalidad de Smart Contracts. A continuación, se listan las plataformas preseleccionadas.

FIGURA 2. Redes de Blockchain preseleccionadas para realizar el estudio comparativo



Zilliqa es una plataforma Blockchain para Smart Contracts que utiliza una tecnología llamada sharding para maximizar la cantidad de transacciones que se pueden realizar en un momento dado. Fue fundada en 2017 por un equipo de investigadores de la Universidad Nacional de Singapur.

Cardano es una plataforma Blockchain diseñada para procesar transacciones utilizando una criptomoneda dedicada llamada ADA. La plataforma puede manejar todo tipo de transacciones, pero el objetivo real es convertirse en la "Internet de Blockchains", creando un ecosistema que permita la intercambiabilidad perfecta entre diferentes cadenas de bloques. Cardano fue fundado en 2017 por Charles Hoskinson, quién fue cofundador de Ethereum.

Polygon es una infraestructura Web3 global y sostenible basada en Ethereum. Fue fundado en 2012 por Sandeep Nailwal.

La plataforma Algorand se lanzó por la necesidad de resolver el problema del "Blockchain trilemma". El proyecto se creó para promover una economía digital descentralizada basada en el acceso abierto y sin permiso utilizando su protocolo Pure Proof-of-Stake. Fue fundado en 2019 por Silvio Micali, profesor del MIT quien recibió el Premio Turing (Premio Nobel de computación).

Vechain es una plataforma fundada en 2015 por Sunny Lu, exdirectora de información (CIO) de Louis Vuitton China. Inicialmente, funcionaba dentro de la red Blockchain de Ethereum. En 2018, la plataforma hizo la transición a su propia red Blockchain.

La red de Velas es un ecosistema de Blockchain descentralizado impulsado por la comunidad y productos y servicios impulsados por IA. La red una Blockchain habilitada para contratos inteligentes superrápida y segura capaz de albergar miles de aplicaciones descentralizadas (dApps). Velas Network AG fue fundada en 2019 por dos cryptoempresarios, Alex Alexandrov y Farkhad Shagulyamov.

Kava Network es la primera cadena de bloques de capa 1 que combina la velocidad y la escalabilidad de Cosmos SDK con el soporte para desarrolladores de Ethereum. Kava fue cofundado por Brian Kerr, Ruaridh O'Donnell y Scott Stuart en 2018. Fue entonces cuando los fundadores establecieron Kava Labs, una empresa con fines de lucro cuyo objetivo es desarrollar e impulsar la creación de la plataforma Kava.

Ethereum es una red blockchain descentralizada de código abierto con funcionalidad para Smart contracts. Fue fundada en 2018 por Vitalik Buterin.

LACNet es un orquestador de infraestructura blockchain neutral y sin fines de lucro para América Latina y el Caribe. Esta plataforma fue fundada en 2021 por RedCLARA y LACNIC en colaboración con BID Lab como spin-off de la Alianza Global LACChain.

Y por último Solana es una red blockchain descentralizada creada para habilitar aplicaciones escalables y fáciles de usar para el mundo. Fue fundada en el 2020 por Anatoly Yakovenko.

#### 4.1. Criterios de evaluación

Cada una de las plataformas Blockchain seleccionadas fueron evaluadas de acuerdo con los siguientes siete criterios:

1. Información general: Se presenta una breve descripción de la plataforma, quién la fundó y en qué año. Esta información es analizada para conocer los propósitos de creación de la plataforma y como ha sido adoptada por la comunidad. También se identifica la criptomoneda asociada con la plataforma y la tasa de cambio a dólares americanos USD.

2. Seguridad de la plataforma: Se analiza el protocolo de consenso utilizado por la plataforma, así como el número de nodos que componen la red Blockchain.

3. Funcionalidad disponible: Se verifica si la plataforma cuenta con la funcionalidad para Smart Contracts.

4. Velocidad real de la plataforma: Se analiza la cantidad de transacciones por segundo. La medición de esta tasa se realizó el 6 de octubre de 2022.

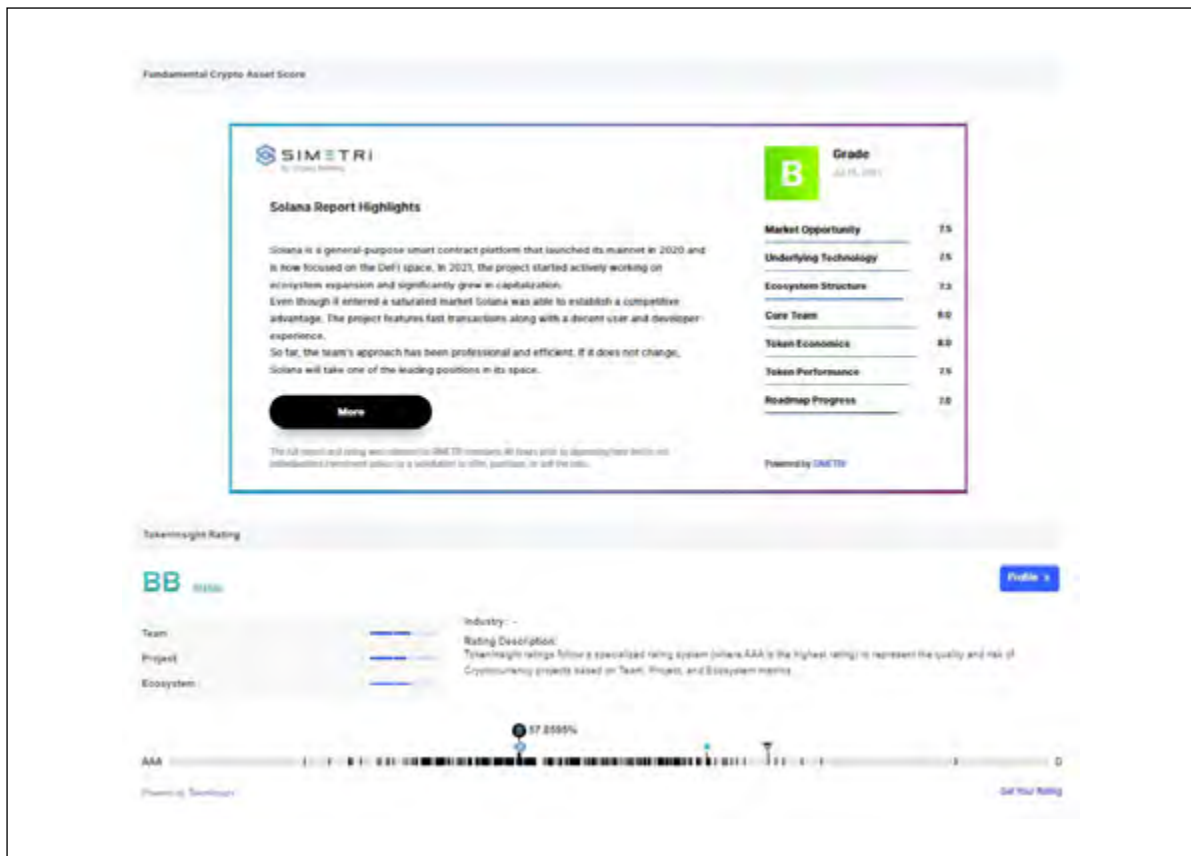
5. Tipo de red: Se verifica el tipo de red, que puede ser pública, privada o mixta.

6. Tasa de adopción de la red: Se analiza la calificación obtenida por la plataforma a partir de dos métricas.

7. Fundamental Crypto Asset Score (FCAS™) SIMETRI: Es una métrica comparativa que se utiliza para evaluar la salud fundamental de los cripto-proyectos. La puntuación se compone de tres factores principales: actividad del usuario, que compara las actividades en cadena para identificar el crecimiento; comportamiento del desarrollador, que mide las actualizaciones del protocolo; y madurez del mercado, analiza el riesgo y la liquidez.

8. Token Insight Rating: Las calificaciones de TokenInsight siguen un sistema de calificación especializado (donde AAA es la calificación más alta) para representar la calidad y el riesgo de los proyectos de Criptomonedas en función de las métricas de Equipo, Proyecto y Ecosistema. La Figura 3 muestra un ejemplo del resultado de la calificación obtenida por la plataforma Solana. La consulta se realizó en el portal [CoinMarketCap.com](https://CoinMarketCap.com).

FIGURA 3. Despliegue de la calificación obtenida para Solana. Consulta realizada desde el portal [coin-marketcap.com](https://coin-marketcap.com)



9. Costo de uso. El uso de una plataforma Blockchain viene con una tasa mínima definida por los administradores de la red. Usualmente el valor de la tasa de uso viene en pagos con la criptomoneda asociada a la plataforma. Para este estudio tomamos como base la tarifa de retiro de criptomonedas establecidas por la red Blockchain. En la Figura 2 se muestra la información desplegada de las tasas asociadas a la red Zilliqa. La consulta se realizó desde el portal [binance.com](https://binance.com).

#### 4.2. Selección de la tecnología

Para la selección de la plataforma Blockchain a utilizar, se establecieron 4 indicadores para medir la seguridad, escalabilidad, confianza y costo. Los indicadores establecidos fueron:

$I_1$  → Posición relativa de la plataforma con respecto a las demás en cuanto al número de nodos de la red.

$I_2$  → Posición relativa de la plataforma con respecto a las demás en cuanto al número de transacciones por segundo.

$I_3$  → Promedio de la posición relativa de la plataforma con respecto a la calificación obtenida por FCAS™ y TokenInsight.

$I_4$  → Posición relativa de la plataforma con respecto al costo de la tarifa de retiro.

A partir de estos indicadores, se desarrolló un modelo para calcular el puntaje de cada plataforma y se eligió la que obtuvo el mayor puntaje como la mejor opción. El modelo de calificación propuesto se presenta en la siguiente ecuación:

$$S = \sum_k w_k I_k = 3I_1 + 2I_2 + 2I_3 + 4I_4$$

Donde S es el puntaje obtenido por la plataforma  $I_k$  representa el k-ésimo indicador,  $w_k$  es un peso para el k-ésimo indicador. Nosotros establecimos el peso como un número entero entre 1 y 4 que establece el nivel de importancia del indicador. En el modelo establecimos nivel 4 de importancia en el indicador del costo de transacción, nivel 2 de importancia en el indicador de seguridad según el número de nodos, y nivel 2 de importancia en los indicadores de velocidad y adopción de la red.

La Tabla 1 muestra el resultado total obtenido por cada plataforma preseleccionada. La plataforma con mejor puntaje fue Zilliqa con 57 puntos, seguido de Algorand y Solana con 56 y 52 puntos respectivamente. Con este resultado, se selecciona de forma preliminar la plataforma Zilliqa para desarrollar la solución.

**TABLA 1.** Valoración de cada una de las plataformas Blockchain preseleccionadas para el estudio comparativo

Nombre de la Tecnología	$I_1$ Seguridad Número de nodos	$I_2$ Velocidad - Transacciones por segundo	$I_3$ Adopción y confianza en la red		$I_4$ Costo - tarifa de retiro	$S$ Resultado
			Fundamental Crypto Asset Score (FCAS™) SIMETRI	TokenInsight Rating		
			Zilliqa	5		
Algorand	2	4	3	3	9	56
Solana	4	7	4	2	5	52
Polygon	3	6	4	2	6	51
Ethereum	6	5	5	4	2	45
Kava	3	1	1	1	7	41
Vechain	3	1	3	3	3	29
Cardano	1	3	2	2	4	29
Velas VLX	1	1	1	1	1	11

La arquitectura es un elemento crítico en el desarrollo de cualquier solución, y aún más importante cuando se trata de una aplicación que hace uso de tecnologías emergentes como Blockchain. Es esencial definir una arquitectura adecuada antes de implementar una solución en la nube, ya que esto garantiza la calidad, escalabilidad, seguridad y rendimiento de la aplicación. Para lograr una buena arquitectura, es necesario identificar los componentes clave de la aplicación, seleccionar los protocolos y herramientas adecuados, y planificar cómo se integrarán e interactúan los diferentes elementos. Es fundamental considerar diferentes tipos de arquitecturas, como la arquitectura de capas, que separa la lógica de negocio de la lógica de la Blockchain, la arquitectura de contratos inteligentes, que define la estructura y el compor-

tamiento de los contratos que se ejecutan en la Blockchain, y la arquitectura de nodos de la Blockchain, que define cómo se implementarán y se comunicarán los nodos de la red para garantizar la seguridad y la integridad de los datos. En resumen, el despliegue de una aplicación que utiliza tecnologías emergentes como Blockchain para el almacenamiento de datos tiene una gran importancia en el mundo empresarial moderno. Al utilizar una red descentralizada y segura como Blockchain para guardar información crítica, se garantiza la integridad y seguridad de los datos, lo que es fundamental en una era donde la privacidad y la protección de datos son una preocupación constante. En este contexto, el proyecto técnicamente se orienta a guardar un hash en Blockchain como resultado de las notificaciones de atención o gestión enviadas mediante email a operadores del servicio TIC y postal notificados por la CRC.

## 5. Discusión

El objetivo de este estudio fue seleccionar la plataforma Blockchain más adecuada para desarrollar una solución, considerando los aspectos de seguridad, escalabilidad, confianza y costo. Para lograrlo, se establecieron cuatro indicadores clave (I\_1, I\_2, I\_3, I\_4) y se desarrolló un modelo de calificación utilizando una ecuación que asigna pesos a cada indicador. Los resultados obtenidos en la Tabla 1 revelan que Zilliqa obtuvo el puntaje más alto (57), seguido de cerca por Algorand (56) y Solana (52). Estos resultados preliminares sugieren que esta tecnología es la mejor opción para desarrollar la solución en cuestión. Al analizar los indicadores, se observa que Zilliqa se destacó en varios aspectos. Obtuvo una alta calificación en seguridad (I\_1) y velocidad/transacciones por segundo (I\_2), lo que indica que cuenta con una red robusta y rápida. Además, obtuvo una buena calificación en adopción y confianza en la red (I\_3), lo que sugiere que tiene una base de usuarios sólida y una reputación positiva. En cuanto al costo de la tarifa de retiro (I\_4), Zilliqa se ubicó en una posición favorable, lo que indica que tiene una estructura de costos atractiva. Sin embargo, se recomienda realizar un análisis más detallado y considerar otros factores relevantes antes de tomar una decisión definitiva. Por ejemplo, podrían considerarse aspectos adicionales como la comunidad de desarrollo, la disponibilidad de herramientas y recursos, así como la compatibilidad con los requisitos específicos del proyecto.

## 6. Conclusiones

La gestión de notificaciones por parte de la Comisión de Regulación de Comunicaciones es un proceso complejo que involucra la interacción de múltiples actores. La CRC es responsable de emitir las notificaciones y gestionar la comunicación con los agentes (todos los operadores TIC y Postal), quienes son los destinatarios de dichas notificaciones y deben cumplir con las normativas y regulaciones establecidas. Los proveedores de servicios de comunicaciones, por su parte, están sujetos a la regulación de la CRC y deben cumplir con las disposiciones establecidas en las notificaciones. Esta solución permite que las entidades envíen exclusivamente la información solicitada por medio de la plataforma con la finalidad de realizar la trazabilidad de la comunicación y garantizar la inmutabilidad por medio de tecnología Blockchain, esto, asegurando que la información es inmutable y resistente a la manipulación, lo que garantiza la autenticidad y la integridad de los datos. En definitiva, la implementación de esta aplicación en Blockchain apoyada en nuevas tecnologías, como la nube de Azure, es una oportunidad para garantizar la seguridad y la privacidad de los datos, así como para mejorar la eficiencia y escalabilidad del sistema. Al adoptar estas nuevas tecnologías, se puede demostrar un compromiso con la innovación y la excelencia en el servicio, lo que puede tener un impacto positivo en la percepción del cliente y en la rentabilidad de la empresa.

## Referencias bibliográficas

- [1] Cruz-Cunha, M. y Portelra, I. (2015). *Handbook of Research on Digital Crime, Cyberspace Security, and Information Assurance*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-6324-4>
- [2] Bowen, P., Hash, J. y Wilson, M. (2006). *Information security handbook: a guide for managers*.
- [3] International Organization for Standardization (2022). *ISO/IEC 27001 Information security management systems*. <https://www.iso.org/standard/27001>
- [4] C. I. Cybersecurity (2018). *Framework for improving critical infrastructure cybersecurity*. CSWP. <https://nvl-pubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST>
- [5] Agencia Española de Protección de datos (2023). *Orientaciones para tratamientos que implican comunicación de datos entre administraciones públicas ante el riesgo de brechas de datos personales*. <https://www.aepd.es/es/node/49655>
- [6] Organización de Estados Americanos – OEA (2021). *Programa de Ciberseguridad del CICTE*. <https://www.oas.org/es/sms/cicte/prog-ciberseguridad.asp>
- [7] Legerén-Molina, A. (2018). Los contratos inteligentes en España (La disciplina de los smart contracts) / Smart contracts in Spain; the regulation of smart contracts. *Revista de Derecho civil*, 5(2), 193-241.
- [8] Khan, S. N., Loukil, F., Ghedira-Guegan, C., Benkhelifa, E. y Bani-Hani, A. (2021). Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends. *Peer-to-peer Networking and Applications*, 14, 2901-2925.
- [9] Alharby, M. y Van Moorsel, A. (2017). Blockchain-based smart contracts: A systematic mapping study. *arXiv preprint arXiv:1710.06372*.
- [10] Sáenz, M. E. (2017). Contratos electrónicos autoejecutables (smart contract) y pagos con tecnología blockchain. *Revista de estudios europeos*, (70), 69-97.
- [11] Agencia Española de Protección de datos (2018). *Blockchain y protección de datos*. Agencia Española de Protección de datos. <https://www.aepd.es/es/prensa-y-comunicacion/blog/blockchain-y-proteccion-de-datos>
- [12] Banco de la República de Colombia (2022). *El Banco de la República participó en la emisión del primer bono en blockchain de Colombia*. <https://www.banrep.gov.co/es/noticias/banco-republica-participo-emision-primer-bono-blockchain-colombia>
- [13] Ministerio de las TIC-Colombia (2023). *Guía de Referencia para la adopción e implementación de proyectos con tecnología blockchain para el Estado colombiano*. [https://drive.google.com/file/d/1wwiS8XSu4xLdkwhzWow7D\\_7jmY7G\\_tpW/view](https://drive.google.com/file/d/1wwiS8XSu4xLdkwhzWow7D_7jmY7G_tpW/view)
- [14] Alcaldía Mayor de Bogotá y Universidad Nacional de Colombia (2018). *Informe final de resultados prototipo Blockchain*. [https://tic.bogota.gov.co/sites/default/files/documentos/blockchain\\_web.pdf](https://tic.bogota.gov.co/sites/default/files/documentos/blockchain_web.pdf)
- [15] Cortés, C., Guzmán, A., Rincón-González, C. A., Torres-Casas, C. y Mejía-Moncayo, C. (2019). A proposal model based on blockchain technology to support traceability of Colombian scholar feeding program (PAE). *Applied Informatics: Second International Conference, ICAI 2019, Madrid, Spain, November 7–9, 2019, Proceedings*, pp. 245-256. Springer.
- [16] Coinmarketcap (s.f.). *Principales 100 Criptomonedas por capitalización de mercado*. <https://coinmarketcap.com/es/>