






Prototipo de seguridad para el Banco Central del Ecuador en Blockchain Híbrido

Security prototype for the Central Bank of Ecuador in Hybrid Blockchain

Félix Mendoza¹, Moisés Toapanta², Carlos Andrade³, Máximo Tandazo⁴, María Roció Maciel Arellano⁵, Luis Jhony Caucha Morales⁶, Richard Romero Izurieta⁷, José Antonio Orizaga Trejo⁸

¹ Gestión de Tecnologías para el Mundo “GTM”, fmendoza99@hotmail.com

² Subsistema de Postgrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), Guayaquil, Ecuador Departamento de Investigación, Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui, segundo.toapanta@ister.edu.ec

³ Universidad Politécnica Salesiana, candrade@est.ups.edu.ec

⁴ Universidad Politécnica Salesiana, mtandazo@ups.edu.ec

⁵ Departamento de Sistemas de Información (CUCEA), Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México, ma.maciel@academicos.udg.mx

⁶ Escuela de Posgrados, Universidad Nacional de Tumbes, ljcaucham@untumbes.edu.pe

⁷ Universidad Estatal de Milagro UNEMI, Universidad Nacional de Tumbes, rromeroi@unemi.edu.ec

⁸ Departamento de Sistemas de Información (CUCEA), Universidad de Guadalajara, jose.orizaga@academicos.udg.mx

Autor para correspondencia: segundo.toapanta@ister.edu.ec

Fecha de recepción: 2022.02.24

Fecha de aceptación: 2022.05.30

Fecha de publicación: 2022.07.12

RESUMEN

Se revisaron modelos transaccionales de Bancos Centrales en Latinoamérica en artículos científicos que presentaron problemas en la gestión de la información y nuevas propuestas en confiabilidad en valores digitales. El problema es que las organizaciones utilizan otros modelos transaccionales de monedas digitales y Ecuador no adopta un modelo de gestión sobre transacciones digitales, la información de los bancos pierde la confiabilidad con temas relacionados a robos informáticos o vulnerabilidad en los sistemas financieros. El objetivo de este documento es realizar un prototipo de modelo para brindar seguridad a la información en el Banco Central del Ecuador basado en Blockchain híbrido. Se utiliza la técnica de la investigación exploratoria, la observación, el método deductivo, el método inductivo para plantear las premisas en Blockchain híbrido al Banco Central. Los resultados son un prototipo de arquitectura para transacciones seguras en Blockchain híbrido, funciones generales del Smart Contract, un algoritmo de gestión de datos expresado en técnicas de diagrama de flujo, y una estructura de datos para almacenamiento. Se concluyó que el prototipo de seguridad de

la información para las transacciones proporciona alto nivel de gestión de la información y almacenamiento de las transacciones de manera segura e inmutable.

Palabras clave: Banco Central del Ecuador, Blockchain, Hyperledger, Ethereum

ABSTRACT

Transactional models of Central Banks in Latin America were reviewed in scientific articles that presented problems in the management of information and new proposals in reliability in digital securities. The problem is that organizations use other transactional models of digital currencies and Ecuador does not adopt a management model on digital transactions, the information of banks loses reliability with issues related to computer theft or vulnerability in financial systems. The objective of this document is to make a prototype model to provide information security in the Central Bank of Ecuador based on hybrid Blockchain. The technique of exploratory research, observation, the deductive method, the inductive method is used to raise the premises in hybrid blockchain to the Central Bank. The results are a prototype architecture for secure transactions in hybrid Blockchain, general functions of the Smart Contract, a data management algorithm expressed in flowchart techniques, and a data structure for storage. It was concluded that the information security prototype for transactions provides a high level of information management and storage of transactions in a secure and immutable manner.

Key words: Central Bank of Ecuador, Blockchain, Hyperledger, Ethereum

INTRODUCCIÓN

Blockchain tiene buen impacto e investigaciones en el área financiera sobre bancos centrales y servicios (Andrade; & Tandazo, 2021), a nivel global, varios países tienen un banco central para gestión de sus economías y datos financieros, en Ecuador la gestión de la información financiera y activos esta cargo del Banco Central del Ecuador (BCE) que gestiona información de usuarios privados y empresas gubernamentales que actúan para el beneficio de nuestro país; además la gestión de la información está bajo los acuerdos de las directivas del banco central (X. Han et al., 2019).

El BCE es una organización que garantiza el flujo financiero y vigila la inflación para impulsar el desarrollo de la economía en Ecuador; entre sus responsabilidades está emitir o gestionar dinero legal, implementar leyes para el ejercicio de la economía, realizar trabajo independiente de las organizaciones gubernamentales y mantener una económica estable

(Green, 2010). Otras funciones de un banco central son gestionar el sistema monetario mediante la aplicación de leyes/políticas monetarias que controlen la inflación en la economía del país, controlar la circulación de billetes en el país, gestionar consignaciones/préstamos a otros bancos dentro del marco legal, realizar transferencias de divisas inter países según las bandas cambiarias (Sun et al., 2018). Las personas u organizaciones utilizan otros sistemas de transacciones basados en monedas digitales, el caso de Ecuador es que no adopta un modelo de gestión o intercambio de este tipo de moneda, al momento las transacciones digitalizadas del entorno financiero del BCE se realizan en dólares norteamericanos, y estas transacciones se encuentran en bases de datos, no existe confianza, tienen vulnerabilidades, la integridad puede ser quebrada (Popova & Butakova, 2019), además un posible ataque a estos registros coloca en alto riesgo la gestión financiera a nivel de país.

El entorno Blockchain es un modelo de datos de registro notable y los datos están en un entorno distribuido, aquí se encuentran nodos/participantes con identificadores, cada nodo/participante contiene información e identificación cifrada para formar una cadena en bloques mucho más seguro (J. Han, 2021). Dentro de Blockchain existe la plataforma Hyperledger que crea canales de comunicación entre las organizaciones situadas en una red privada, el principal componente es el Smart Contract que implementa los acuerdos entre las organizaciones relacionadas, (Akter & Biswas, 2021). Otra plataforma de Blockchain es Ethereum que se utiliza en modelos de pagos en la cadena de registros, también es una plataforma de código abierto, se establece en varios computadores, contiene el historial de transacciones/registros realizados en la cadena (Joseph & Scholar, 2021).

El objetivo de este documento es realizar un prototipo de modelo para brindar seguridad a la información en el Banco Central del Ecuador basado en Blockchain híbrido. ¿Por qué realizar un prototipo de modelo para seguridad de la información en el Banco Central del Ecuador basado en Blockchain híbrido? Para mantener transacciones en forma segura y extender la confiabilidad en el modelo de intercambios en el BCE, mantener un control en los registros de datos del sistema financiero y ampliar la seguridad ante filtraciones de información entre

personal del banco. Se utiliza la técnica de la investigación exploratoria y la observación para analizar otras propuestas de Blockchain en el área financiera, se utiliza el método deductivo para plantear las ideas generales a este caso específico, se utiliza el método inductivo para plantear las premisas en Blockchain híbrido al BCE.

Los resultados son un prototipo de arquitectura para transacciones seguras en Blockchain híbrido, funciones generales del Smart Contract, un algoritmo de gestión de datos expresado en técnicas de diagrama de flujo, y una estructura de datos para almacenamiento. Se concluye que el prototipo de seguridad de la información para las transacciones proporciona alto nivel de gestión de la información y almacenamiento de las transacciones de manera segura e inmutable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se utiliza como Materiales los artículos relacionados a seguridad de la información basados en Blockchain para el sector financiero: En (X. Han et al., 2019) se propone e implementa una arquitectura en capas para control del ciclo de vida de sistema monetario, gestión del sistema en Blockchain y gestión de usuarios. En (Green, 2010) el autor crea un marco historial del BCE, analiza la historia del banco en la formación del sistema financiero del país, se presentaron las responsabilidades del sistema bancario. En (Sun et al., 2018) se implementa un sistema en Blockchain para de pago digital del banco central, utilizaron protocolos de comunicación que optimizan las transacciones y los procesos se vuelven eficientes en cada nodo. En (Gu et al., 2019) los autores diseñaron un modelo transaccional de solicitud, el modelo clasifica las claves de acceso a la plataforma, los procesos de reglas de negocios se implementan en Smart Contract, las pruebas obtuvo buena aceptación para el modelo de comercialización. En (Yuan & Wang, 2018) los autores investigaron varios sistemas basados en Blockchain, ellos analizan la optimización en los sistemas y la perspectiva en las transacciones realizadas entre los participantes. En (Liu et al., 2019) los autores diseñaron un modelo para comercio de seguros en Blockchain descentralizado para

la estimación de la seguridad, utilizan flujos de procesamiento de datos, utilizan Smart Contract para optimizar la seguridad en la cadena de registros. En (Hosen et al., 2020) los autores diseñaron un protocolo de validación de transacciones basado Blockchain en una red distribuida, además implementaron un sistema de transmisión para clasificación de servicios, el diseño minimiza el tiempo que un paquete de datos es enviado al receptor. En (Tsai et al., 2018) los autores proponen un modelo para almacenar los saldos de las cuentas que pertenecen al sistema bancario, el modelo tiene los participantes de las cuentas y el sistema que gestiona las transacciones, además el sistema se adapta a varios sistemas del banco. En (Zhang & Zhou, 2020) los autores analizaron una la arquitectura de un sistema Blockchain y los problemas de seguridad/confianza en la información, la arquitectura utiliza modelos de cifrado simétrico y aumentaron la confiabilidad del sistema. En (Deng & Gao, 2020) los autores proponen un sistema de gestión de peajes en Blockchain, la implementación del modelo de transacción y comunicación entre dos participantes, la tecnología avala el funcionamiento y la autenticación en el sistema, además utilizan Smart Contract que sincroniza en forma rápida la gestión de los datos almacenados. En (Wang et al., 2020) los autores proponen un sistema Blockchain con acelerador de memoria para las transacciones y un módulo que valida las transacciones, implementaron una arquitectura de mapeo para los procesos del Blockchain con buenos rendimientos y efectividad de las transacciones. En (Zhuang & Region, 2020) los autores analizaron el impacto de moneda digital en el banco central, el sistema es distribuido/descentralizado y las aplicaciones/programas de almacenamiento colaboran de manera independiente con una conexión integrada, el sistema Blockchain garantiza la autenticación de los objetos digitales y confianza en las transacciones. En (Pavithran & Thomas, 2018) los autores analizan un sistema de monedas digitales, identifican los modelos de pagos actuales y comparan con modelos de criptomonedas, aquí se concluye que la seguridad de Blockchain es mejor que sistemas tradicionales. En (Zhaofeng et al., 2020) se implementa un modelo de gestión de información para la seguridad en los datos en Blockchain. En (Fan et al., 2018) se propone un diseño para salvaguardar los registros de crédito en Blockchain, se implementaron Smart Contract para las cuentas de crédito, se resuelve el problema de identificación y validación de datos. En

(Mamunts et al., 2018) se identificaron modelos Blockchain para aumentar la fiabilidad y la autenticidad de los datos relevantes de una persona, además las transacciones en línea de un sector público se optimizan. En (Mukhopadhyay et al., 2016) se realiza un análisis de las técnicas de minería para evaluar las fortalezas, debilidades y amenazas del sistema transacciones, se compararon los sistemas de transacciones versus los nuevos modelos Blockchain, en los sistemas transaccionales el uso de recursos se ve afectado en el rendimiento. En (Yin et al., 2018) se diseña un esquema de autenticación de transacciones basado en Blockchain para monederos virtuales, utilizan protocolos de autenticación, el sistema genera claves públicas para acceso, con esto se obtuvo un sistema seguro contra ataques de robo de información. En (Lee et al., 2020) se diseña un framework para servicios bancarios en hyperledger. Otra propuesta es el diseño para préstamos bancarios y seguimiento a los clientes en Brasil (Junior et al., 2018).

Métodos

Se realiza el análisis de artículos científicos de biblioteca IEEE para adoptar al prototipo de seguridad de la información y transacciones del modelo de negocio. Se analizó en forma general el manejo del sistema económico de los varios países en América, la propuesta de un prototipo de transferencia de activos (valores monetarios) se basa en mejorar la seguridad, aumentar la confiabilidad entre los bancos, y gestionar las transacciones en la circulación de los bancos en el Ecuador. En los artículos científicos analizados, otros países desarrollan sistemas de almacenamiento que aseguraron la privacidad de los usuarios o entidades (Zhaofeng et al., 2020), otros modelos de transferencias de valores ubicados en los bancos de otros países utilizan al menos un modelo Blockchain (Mamunts et al., 2018).

Alcances: Proponer un prototipo para transacciones basado en Blockchain y un modelo de almacenamiento y gestión de la información para brindar seguridad y confiabilidad en las transacciones. Esta propuesta adopta una tecnología Blockchain y sus plataformas Hyperledger/Ethereum para gestionar el almacenamiento de la organización bancaria, se define una arquitectura para gestionar la seguridad en las transacciones digitales, se define un algoritmo de gestión de historial de las transacciones realizadas.

RESULTADOS

Los resultados en esta fase son los siguientes:

- a) Prototipo de arquitectura para transacciones seguras en Blockchain híbrido.
- b) Funciones generales del Smart Contract.
- c) Algoritmo de gestión de datos.
- d) Estructura de datos para almacenamiento.

Prototipo de arquitectura para transacciones seguras en Blockchain híbrido

Se propone un prototipo de arquitectura formado por cinco capas que optimiza la seguridad de la información y el almacenamiento de las transacciones de los usuarios u organizaciones que utilicen el sistema. La Fig. 1 presenta el prototipo de seguridad para las transacciones realizadas en el BCE, la información fluye a través de las capas que se originan en los clientes.

Capa de usuario: Aquí se encuentran los usuarios internos y externos del BCE, además de las organizaciones participantes que trabajan en conjunto con el BCE y el registro de todos los bancos ecuatorianos; los usuarios pueden utilizar un celular, computadora de escritorio, computadora portátil, tabletas u otro dispositivo para acceso al sistema bancario.

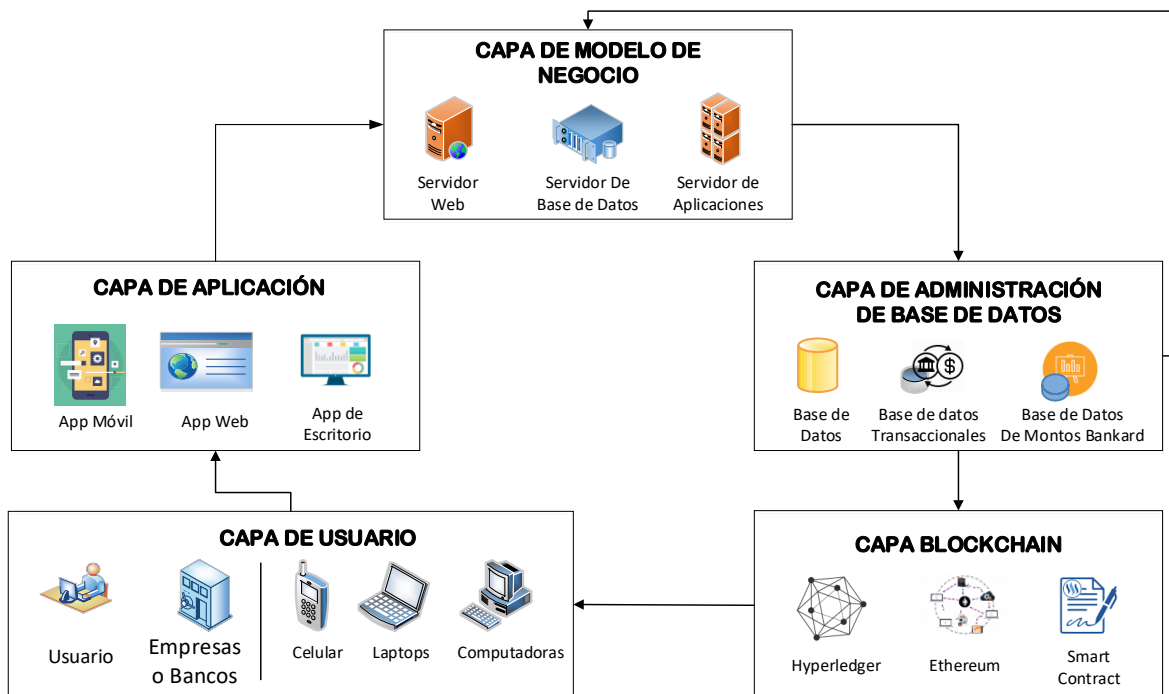
Capa de aplicación: Aquí se encuentran las aplicaciones informáticas que el banco utiliza de acuerdo al tipo de transacción por registro digital de los valores, en esta capa están las aplicaciones móviles/web/escritorio.

Capa de modelo de negocio: Aquí se encuentran las aplicaciones que son servicios para el proceso de conexión, cálculos, gestiones o transacciones entre la capa de aplicaciones y la capa de base de datos, aquí se localiza el servidor web, el servidor de aplicaciones y el servidor de modelo de transacciones.

Capa de administración de base de datos: Aquí se encuentran las bases de datos que el sistema informático del BCE mantiene para almacenamiento de cualquier información, los usuarios se conectan por medio de las aplicaciones informáticas del banco; aquí se encuentra la base de datos de datos propia del BCE, las transacciones generadas, los datos de los usuarios y el monto de dinero.

Capa de Blockchain: Aquí se encuentra la tecnología Blockchain aplicada al sistema bancario, aquí se mantiene la seguridad de los datos que pertenecen a los usuarios y las transacciones realizadas en el BCE contra alguna amenaza de ataque; esta plataforma gestiona los usuarios y las transacciones bancarias dentro del entorno.

Fig. 1. Prototipo de arquitectura para gestión de seguridad en las transacciones



El modelo tiene una red formada por plataformas Blockchain; en la primera plataforma Hyperledger se gestionan los usuarios del BCE y los bancos que se encuentran registrados dentro del país con credenciales de acceso al sistema que son generadas por la cadena; en la segunda plataforma Ethereum se gestionan los usuarios externos como terceros y

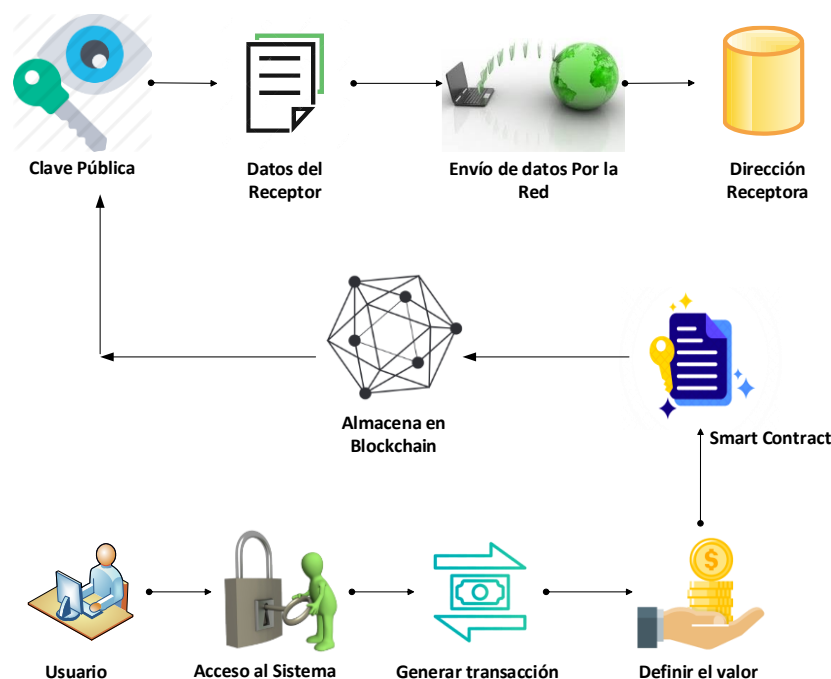
organizaciones/empresas del país con credenciales de libre acceso que pasan por el Smart Contract y se aplica las condiciones que el banco del cliente le proporcione.

Funciones generales del Smart Contract

El modelo de seguridad es para mantener el almacenamiento consistente e inmutable en base a funciones de Blockchain, el uso de Smart Contract asegura el envío de las transacciones a través de la red.

La Fig. 2 representa un modelo de transacciones de valores monetarios en el BCE, el movimiento del dinero desde un cliente bancario hacia otro cliente mediante la utilización de Smart Contract en la red Blockchain; el cliente u organización accede al sistema con la clave privada que se le proporciona; luego el cliente genera la nueva transacción con el monto a transferir hacia la otra cuenta, los datos del remitente y beneficiario; luego se genera un contrato digital que contiene los acuerdos declarados por el cliente emisor; luego el contrato digital viaja por la red y se adiciona a la red Blockchain; además se valida la clave pública del cliente emisor para realizar el envío antes que la red convencional y se obtiene los datos del receptor; los datos de la nueva transferencia viaja a través de la red y alcanza a la nueva dirección del cliente receptor.

Fig. 2. Modelo transaccional en Smart Contract



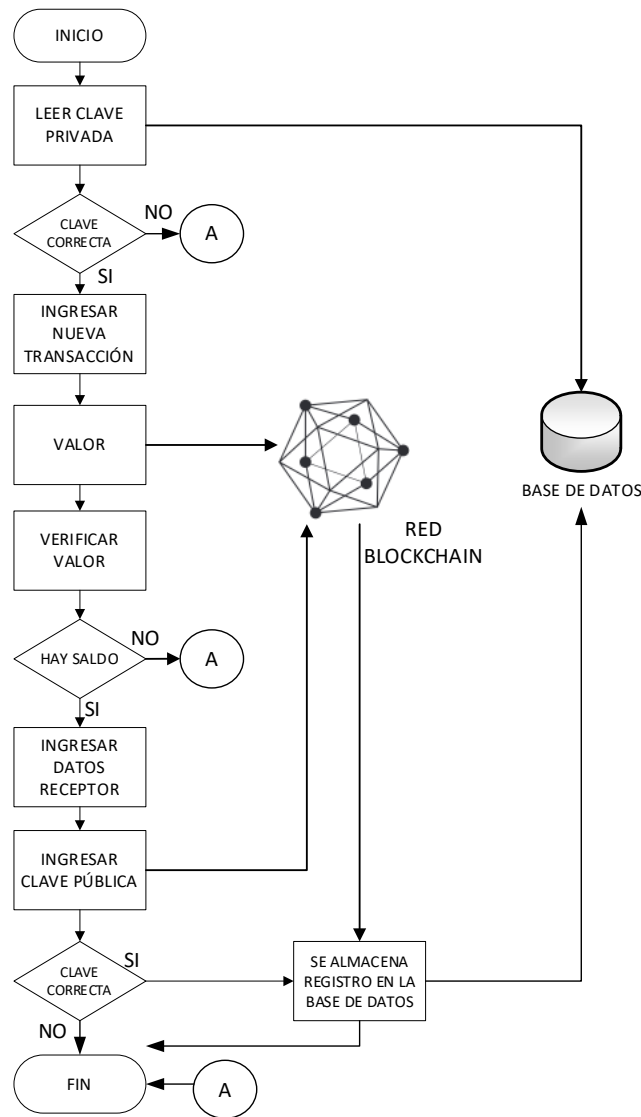
Este prototipo mejora la seguridad en la transferencia de los valores y la tecnología Blockchain utilizada por usuarios en la red y el BCE aumenta la confidencialidad/privacidad en el trayecto del valor; este prototipo cuenta con un sistema de claves públicas y privadas que son generadas por un proveedor de credenciales que pertenecen al Blockchain. Las funciones de los administradores del Blockchain con el modelo de Smart Contract se encargan de gestionar las transacciones generadas en el uso del sistema; el Smart Contract documenta y verifica el cumplimiento de las políticas implementadas en el sistema de transferencia de valores; además valida los datos y simulaciones en ambientes de estrés para mejorar el servicio de transferencias y aumentar la seguridad en el sistema. En el prototipo, los bancos son administrados de acuerdo con los roles entregados por el administrador, estos usuarios pueden ser adicionados, actualizados o eliminados de acuerdo con la política del sistema, y se genera un registro de los cambios en la base de datos tradicional y en el Blockchain para la seguridad en la información.

Algoritmo de gestión de datos

Se propone un algoritmo para la gestión de seguridad en las transacciones generadas por los clientes u organizaciones bancarias controladas por el BCE; el algoritmo contiene los pasos o secuencia del sistema de transacción tradicional con la diferencia que el sistema está conectado a una red Blockchain para la gestión de los movimientos en el sistema financiero del BCE.

La Fig. 3 se presenta el algoritmo propuesto en técnicas de diagrama de flujo, el algoritmo plantea la validación de claves privadas para entrar al sistema y mantener una conexión a la base de datos del sistema para confirmación de datos del cliente-usuario; el sistema valida el acceso y permite generar una transacción al cliente-usuario, caso contrario se corta la conexión por datos erróneos o datos inexistentes; el cliente-usuario genera una nueva transacción con el valor mientras que el sistema inicia la verificación del monto; si el valor es mayor al saldo que tiene en la cartera digital entonces el sistema finaliza la transacción y emite un mensaje de fondos insuficientes; si existe saldo en la cartera entonces el sistema solicita al cliente-usuario los datos del beneficiario de la transacción y solicita una clave transaccional o clave pública generada por del gestor de Blockchain; en el momento que el valor es aceptado junto con la clave pública, se realiza una conexión con la red Blockchain para realizar el respaldo/registro de la transacción generada; si la clave transaccional es válida entonces el sistema se realiza la transacción y se almacenan los registros en la base de datos y en la red Blockchain; se entrega un mensaje de transacción exitosa y se finaliza la transacción.

Fig. 3. Algoritmo de gestión de la información.



Este prototipo permite la verificación de los datos sea ordenada, adecuada y sencilla para el cliente-usuario y mantener la seguridad durante toda la transacción.

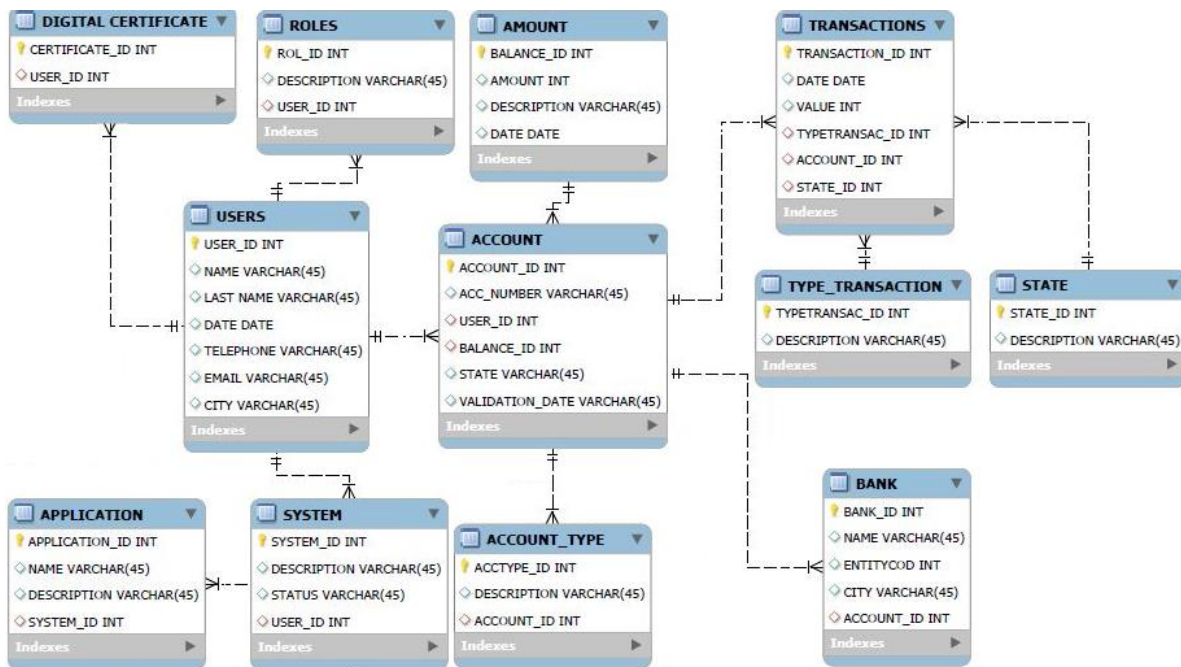
Estructura de datos para almacenamiento

Se propone un modelo de datos que almacena las transacciones del BCE, este modelo valida las transacciones que se realizan en la interacción de los clientes-usuarios con el sistema por medio de las plataformas Blockchain, los clientes-usuarios acceden a las aplicaciones para

acceder a las bases de datos y generar las transacciones; en la estructura de datos se visualizan las tablas que contienen los registros y las relaciones entre los datos.

La Fig. 4 presenta el modelo de datos en Blockchain con las tablas asignadas por tipo de registro; la tabla Users contiene los usuarios del BCE, los usuarios generales y las organizaciones registradas; la tabla Account contiene todas las cuentas de los usuarios registrados en el sistema; la tabla Roles contiene registrados los perfiles-roles de los usuarios de acuerdo al cargo bancario o en los usuarios externos; la tabla Digital Certificate contiene los registros de las claves transaccionales de cada cliente-usuario; la tabla System contiene el estado del sistema con conexión a las aplicaciones informáticas en la tabla Application; la tabla Account type contiene los tipos de cuentas de acuerdo con los clientes-usuarios registrados; la tabla Amount contiene el monto de los usuarios registrados en la red; la tabla Bank contiene los bancos que se encuentran asociados con el BCE; la tabla Transactions contiene la información de los movimientos de las cuentas de acuerdo al tipo de transacción generada en el sistema conectadas a la tabla Type Transaction y el estado de la transacción que se encuentra en la tabla State.

Fig. 4. Estructura de datos para el prototipo Blockchain.



DISCUSION

El prototipo mejora seguridad para las transacciones de dinero digital y resguardo de la información en un sistema del BCE, la gestión del sistema para utilización de los usuarios internos del banco, bancos legales del país y usuarios externos para mantener datos fiables mediante el uso de Blockchain proporciona la seguridad en la información de extremo a extremo.

El prototipo de gestión de la información y las funciones definidas en el Smart Contract aseguran la trazabilidad y salvaguardan la información de una manera efectiva y sin filtraciones; las funciones transaccionales y el algoritmo complementan el prototipo de seguridad con la conexión en la base de datos y la conexión a Blockchain; el modelo en Blockchain híbrido y el modelo de datos se enfocan en mantener una gestión de información que se generan en las interacciones con el sistema para aumentar la seguridad e inmutabilidad de la información.

En la lectura de artículos científicos hay modelos similares que adoptaron de otros sistemas Blockchain de acuerdo al tipo de transacciones que generan, gestión de usuarios, seguimiento

los datos de acuerdo a los roles de cada usuario; los datos se mantienen disponibles para que las transacciones se generen.

Esta propuesta no se determina ni presenta los valores de la implementación de los sistemas, no se determina el posible tiempo de implementación, aunque esto puede variar de acuerdo al sistema que utilizan los países.

CONCLUSIONES

Se concluyó que el prototipo de seguridad de la información para las transacciones proporciona resultados óptimos para la gestión y almacenamiento de las transacciones de forma segura.

Con la funcionalidad del Smart Contract, la información generada y almacenada en los nodos, proporciona seguridad al almacenar en la red Blockchain híbrida, se proporciona confiabilidad en el sistema de transacciones desde el cliente-emisor hasta el cliente-receptor del valor.

Los registros que se almacenan en la estructura de datos del Blockchain se generan después del registro convencional durante el uso del sistema, el prototipo optimiza la gestión de los usuarios y sus cuentas en la base de datos.

REFERENCIAS

- Akter, M. Y., & Biswas, M. (2021). BLS : Bank Loan Sanction Using Blockchain. *2021 International Conference on Electronics, Communications and Information Technology (ICECIT), September, 14–16*. <https://doi.org/10.1109/ICECIT54077.2021.9641104>
- Andrade, A., & Tandazo, M. (2021). Enfoque de Información Segura para Banco Central del Ecuador basado en Blockchain. *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL*.
- Deng, X., & Gao, T. (2020). Electronic Payment Schemes Based on Blockchain in VANETs. *IEEE Access, 8*, 38296–38303. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2974964>
- Fan, K., Ren, Y., & Yan, Z. (2018). Secure Credit Reporting on the Blockchain. *2018 IEEE International Conference on Internet of Things (IThings) and IEEE Green Computing*

and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData), 1349–1354.
<https://doi.org/10.1109/Cybermatics>

Green, A. (2010). Banco Central del Ecuador-Base Legal. *British Dental Journal*, 209(11), 544. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2010.1088>

Gu, K., Wang, L., & Jia, W. (2019). Autonomous Resource Request Transaction Framework Based on Blockchain in Social Network. *IEEE Access*, 7, 43666–43678. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2908627>

Han, J. (2021). Intelligent Data Management System and Performance Joint Blockchain Model for Commercial Bank Management Accounting. (*IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud*) (I-SMAC), 1525–1528. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC52330.2021.9641031>

Han, X., Yuan, Y., & Wang, F.-Y. (2019). A Blockchain-based Framework for Central Bank Digital Currency. *2019 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, 263–268. <https://doi.org/10.1109/SOLI48380.2019.8955032>

Hosen, A. S. M. S., Singh, S., Sharma, P. K., Ghosh, U., Wang, J., Ra, I.-H., & Cho, G. H. (2020). Blockchain-Based Transaction Validation Protocol for a Secure Distributed IoT Network. *IEEE Access*, 8, 117266–117277. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3004486>

Joseph, S., & Scholar, M. T. (2021). A Blockchain Based Decentralized Transaction Settlement System in Banking Sector. *ICMSS*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICMSS53060.2021.9673610>

Junior, G. M. A., Junior, J. N. D., Onodera, M. T., Moreno, S. M. de B. M., & Almeida, V. da R. S. (2018). Improving the Process of Lending, Monitoring and Evaluating through Blockchain Technologies. *2018 IEEE Confs on Internet of Things, Green Computing and Communications, Cyber, Physical and Social Computing, Smart Data, Blockchain, Computer and Information Technology, Congress on Cybermatics*, 1181–1188. <https://doi.org/10.1109/Cybermatics>

Lee, Y.-T., Lin, J.-J., Hsu, J. Y.-J., & Wu, J.-L. (2020). A Time Bank System Design on the Basis of Hyperledger Fabric Framework. *2020 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ICBC48266.2020.9169476>

Liu, Y., Ji, Q., Zheng, Q., Wu, H., Wang, Z., & Xiong, G. (2019). Security Assessment of a Partially Decentralized Blockchain System. *2019 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, 242–247. <https://doi.org/10.1109/SOLI48380.2019.8955082>

Mamunts, D. G., Marley, V. E., Kulakov, L. S., Pastushok, E. M., & Makshanov, A. V. (2018). The use of authentication technology blockchain platform for the marine

- industry. *Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018, 2018-Janua*, 69–72. <https://doi.org/10.1109/ElConRus.2018.8317032>
- Mukhopadhyay, U., Skjellum, A., Hambolu, O., Oakley, J., Yu, L., & Brooks, R. (2016). A brief survey of Cryptocurrency systems. *2016 14th Annual Conference on Privacy, Security and Trust (PST)*, 745–752. <https://doi.org/10.1109/PST.2016.7906988>
- Pavithran, D., & Thomas, R. (2018). A Survey on Analyzing Bitcoin Transactions. *2018 Fifth HCT Information Technology Trends (ITT), Itt*, 227–231. <https://doi.org/10.1109/CTIT.2018.8649517>
- Popova, N. A., & Butakova, N. G. (2019). Research of a Possibility of Using Blockchain Technology without Tokens to Protect Banking Transactions. *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, 1764–1768. <https://doi.org/10.1109/ElConRus.2019.8657279>
- Sun, H., Mao, H., Bai, X., Chen, Z., Hu, K., & Yu, W. (2018). Multi-blockchain model for central bank digital currency. *Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, PDCAT Proceedings, 2017-Decem*, 360–367. <https://doi.org/10.1109/PDCAT.2017.00066>
- Tsai, W. T., Zhao, Z., Zhang, C., Yu, L., & Deng, E. (2018). A multi-chain model for CBDC. *Proceedings - 2018 5th International Conference on Dependable Systems and Their Applications, DSA 2018*, 25–34. <https://doi.org/10.1109/DSA.2018.00016>
- Wang, Q., Jia, Z., Wang, T., Shen, Z., Zhao, M., Chen, R., & Shao, Z. (2020). A Highly Parallelized PIM-Based Accelerator for Transaction-Based Blockchain in IoT Environment. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(5), 4072–4083. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2963245>
- Yin, W., Wen, Q., Li, W., Zhang, H., & Jin, Z. (2018). An Anti-Quantum Transaction Authentication Approach in Blockchain. *IEEE Access*, 6, 5393–5401. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2788411>
- Yuan, Y., & Wang, F. Y. (2018). Blockchain and Cryptocurrencies: Model, Techniques, and Applications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(9), 1421–1428. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2018.2854904>
- Zhang, P., & Zhou, M. (2020). Security and Trust in Blockchains: Architecture, Key Technologies, and Open Issues. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 7(3), 790–801. <https://doi.org/10.1109/TCSS.2020.2990103>
- Zhaofeng, M., Xiaochang, W., Jain, D. K., Khan, H., Hongmin, G., & Zhen, W. (2020). A Blockchain-Based Trusted Data Management Scheme in Edge Computing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(3), 2013–2021. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2933482>
- Zhuang, G., & Region, A. (2020). Impact of Bitcoin's Distributed Structure on the

Construction of the Central Bank's Digital Currency System. *Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, *Icisc*, 829–832.
<https://doi.org/10.1109/ICISC47916.2020.9171195>