



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA PARA SEGUIMIENTO Y TRAZABILIDAD DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN BASADA EN LA PLATAFORMA HYPERLEDGER DE LA TECNOLOGÍA BLOCKECHAIN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero de Sistemas

AUTOR: Luis Daniel Alava Torres

TUTOR: Joe Frand Llerena Izquierdo

Guayaquil – Ecuador

2025

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Daniel Alava Torres con documento de identificación N° 0923843262 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 1 de julio del año 2025

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, reading "Luis Alava T.", is positioned above a horizontal line. The signature is written in a cursive style.

Luis Daniel Alava Torres

0923843262

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Luis Daniel Alava Torres con documento de identificación N° 0923843262, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: **“DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA PARA SEGUIMIENTO Y TRAZABILIDAD DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN BASADA EN LA PLATAFORMA HYPERLEDGER DE LA TECNOLOGÍA BLOCKECHAIN”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 1 de julio del año 2025

Atentamente,



---

Luis Daniel Alava Torres

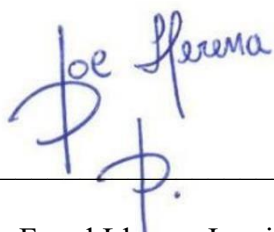
0923843262

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Joe Frand Llerena Izquierdo con documento de identificación N° 0914884879, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA PARA SEGUIMIENTO Y TRAZABILIDAD DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN BASADA EN LA PLATAFORMA HYPERLEDGER DE LA TECNOLOGÍA BLOCKECHAIN**, realizado por Luis Daniel Alava Torres con documento de identificación N° 0923843262, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 1 de julio del año 2025

Atentamente,



---

Joe Frand Llerena Izquierdo

0914884879

## DEDICATORIA

Dedico este gran esfuerzo a mis progenitores, Víctor y Nancy, quienes siempre han estado a mi lado con amor y paciencia, incluso en los momentos más difíciles de mi vida. Gracias a sus infaltables consejos e inconmensurable apoyo, ha sido posible alcanzar esta ardua meta. A cada uno de mis hermanos mayores, Gina, César, Adriana y Víctor, cuyas experiencias vividas me han servido de ejemplo para saber qué camino escoger cuando me he encontrado desorientado sobre qué decisión tomar. Para finalizar, y quizás un poco fuera de lo común, también se lo dedico a mis hijas caninas, Brandy, Cloe, Daisy y Emma, aquellas hermosas mascotas que hacen que cada día mi casa sea un hogar cálido y confortable.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco, ante todo, a mi familia, por ser mi pilar incondicional y mi apoyo emocional. A aquellos mentores que supieron impartir sus conocimientos, despejar dudas y despertar en mí esa chispa de curiosidad que me alentó a investigar y expandir mis saberes para poder debatir al mismo nivel. También agradezco a quienes fueron mis compañeros a lo largo de esta ardua aventura, aquellos que confiaron en mí y en quienes yo también confié, para esforzarnos juntos en cada uno de nuestros trabajos. Por último, y no menos importante, quiero darme las gracias a mí mismo por creer en mí, por no tirar la toalla y por cumplir una meta más.

## RESUMEN

Las prácticas predominantes en la trazabilidad de los materiales de obras de construcción se caracterizan por desafíos como la fragmentación de datos, la falta de confianza entre los interesados y el intercambio restringido de datos. Este documento presenta una alternativa basada en Blockchain para la gestión y trazabilidad de materiales de construcción, que mejora el seguimiento y la transparencia de datos compartidos sobre los materiales. El objetivo general es diseñar una arquitectura para aplicar seguridad de datos en la identificación, almacenamiento y rastreo de los materiales y logística en las obras de construcción basada en la plataforma Hyperledger de la tecnología Blockchain. Se clasificaron 20 artículos científicos sobre el tema de esta propuesta y las respectivas respuestas a las preguntas de investigación. Se propuso una arquitectura para que los planos, inspecciones, maquinarias, flotas de transporte y materiales, se registren y se pueda realizar seguimiento; la red está compuesta por cinco miembros principales: el contratista, el proveedor, el responsable de inventario, el inspector de calidad y cliente-inversionista. El Smart Contract se forma de ocho funciones: emisión de Orden de Compra, producción de materiales, transporte de materiales, entrega de materiales, aceptación de materiales, preparación de facturas, gestión de inventario y consultas. El costo de la arquitectura es \$30500 y los beneficios suman \$35000, esto genera un beneficio del 14.75% porque los beneficios superan a los costos. Se concluyó que esta propuesta basada en tecnología Blockchain, elimina los datos aislados que afectan las actividades durante la cadena de suministro y distribución de los componentes-materiales de construcción.

**Palabras claves:** Blockchain, Gestión de materiales de construcción, Trazabilidad, Contrato Inteligente.

## ABSTRACT

Prevailing practices in the traceability of construction materials are characterized by challenges such as data fragmentation, lack of trust between stakeholders, and restricted data sharing. This paper presents a blockchain-based alternative for the management and traceability of construction materials, which improves the tracking and transparency of shared data about the materials. The overall objective is to design an architecture to implement data security in the identification, storage, and tracking of materials and logistics at construction sites based on the Hyperledger platform of blockchain technology. Twenty scientific articles on the topic of this proposal and their respective answers to the research questions were classified. An architecture was proposed to record and track plans, inspections, machinery, transport fleets, and materials. The network is composed of five main members: the contractor, the supplier, the inventory manager, the quality inspector, and the client-investor. The Smart Contract consists of eight functions: Purchase Order issuance, materials production, materials transportation, materials delivery, materials acceptance, invoice preparation, inventory management, and inquiries. The architecture cost is \$30,500 and the benefits total \$35,000, generating a 14.75% profit because the benefits outweigh the costs. It was concluded that this proposal, based on Blockchain technology, eliminates the siloed data that affects activities throughout the supply and distribution chain of construction components and materials.

**Key words:** Blockchain, Construction Materials Management, Traceability, Smart Contract

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	12
2.1. Concepto de la tecnología Blockchain .....	12
2.2. Tipos de plataformas Blockchain .....	13
2.3. Artículos relacionados de Blockchain en el sector de la construcción .....	14
3. METODOLOGÍA .....	17
4. RESULTADOS.....	19
4.1. Identificar arquitecturas para aplicar seguridad de datos para la gestión de obras de construcción basado en Blockchain mediante una revisión de artículos relevantes .....	19
4.2. Diseñar una arquitectura para la trazabilidad sobre los planos, inspecciones, maquinarias, flotas de transporte y materiales que se utilizan en las obras de construcción basada en Hyperledger.....	24
4.3. Verificar la factibilidad económica de la solución Blockchain para analizar su costo-beneficio.....	29
5. DISCUSIÓN.....	32
6. CONCLUSIÓN .....	33
REFERENCIAS.....	33

### 1. INTRODUCCIÓN

Las construcciones de infraestructuras físicas tienen períodos de construcción de acuerdo al proyecto, puede ser corto o largo, y se realizan o desmantelan en entornos de peligro. En la práctica, los planos arquitectónicos, las inspecciones, las maquinarias, la flota de transportes y materiales que se utilizan en las obras, están en una bitácora que es una sencilla hoja electrónica; esto conlleva problemas y errores en la gestión. Consecuentemente, es necesario gestionar en forma eficaz los componentes que se utilizan en las obras a lo largo de su ciclo de vida como planificación, cantidades, pedidos, transporte, instalación y desmontaje. Se necesitan métodos y herramientas optimizadas para la gestión de datos sobre las obras de construcción con el fin de dar seguimiento y mayor transparencia a las infraestructuras levantadas.

En la industria de la construcción, existen culturas fragmentadas porque los participantes tienen intereses desalineados en los proyectos; algunos problemas son: falta de confianza, fragmentación de los suministros e intercambio deficiente de datos.

Frecuentemente, los participantes de la construcción se muestran reacios a usar una aplicación centralizada; esto conlleva a que los datos en las distintas etapas de la construcción (pedido adquisición-distribución-instalación) se fragmenten y desconecten, y esto resulta en gestiones basadas en documentos. Los inspectores verifican de forma manual sobre la generación, almacenamiento, distribución y comunicación de los datos correctos en los documentos. Estos documentos son vulnerables a grandes riesgos de falsificación, posible manipulación de datos, evasión de rendición de cuentas, ocultamiento de cumplimiento de las normas, y falsificación de documentos ya aprobados. Por estos y otros problemas de información, sería necesario que el auditor o inspector visite la obra (Yang et al., 2022).

A nivel mundial, en el 2022 se estima que el gasto en obras de construcción es más de 12 billones de dólares americanos. En el Reino Unido se estima gastos de 600 mil millones de libras esterlinas en los siguientes 10 años en construcciones públicas y privadas. Esto supone mejorar la eficiencia y productividad para entregar proyectos de infraestructura. El principal problema que obstaculiza la modernización en la industria de la construcción es la incapacidad para adoptar los avances tecnológicos (Li et al., 2022).

A nivel de Ecuador, en el 2023 el sector de la construcción tuvo ventas por 5309 millones de dólares americanos, 90 mil empleos en forma directa, además, la masa salarial fue más de 735 mil dólares americanos con el sueldo promedio por persona de \$645. Conjuntamente participaron más de 32 mil empresas entre micro, pequeña, mediana y grande (INEC-Ecuador, 2024). En el año 2023, hubo 22800 permisos de construcción, 30895 edificaciones y 41740 viviendas; las tres provincias con mayores permisos de construcción son Guayas con 6071, Pichincha con 1989 y Manabí con 1880; los tres cantones con más construcciones son Guayaquil con 2790, Daule con 1988 y Quito con 1068; a nivel nacional los tipos de obras más recurrentes son: reconstrucción en 2%, ampliación en 13% y nuevas construcciones en 85% (EcuadorEnCifras, 2024).

Por otro lado, la gestión de la construcción tiene desafíos relacionados con la confianza, el intercambio de datos y gestión de procesos; sin embargo, Blockchain suministra la confianza, inmutabilidad, seguridad y transparencia para solventar problemas de la gestión. Por ejemplo,

los planos de construcción se emiten en varias etapas y los interesados deben ser notificados de la actualización. Pero, si los interesados trabajan en forma separada, surgen problemas que van desde la identificación de última versión de planos, el desconocimiento de la incorporación de los planos arquitectónicos, estructurales, sanitarios y eléctricos, entre otros (Perera et al., 2022).

Además, Blockchain es una tecnología utilizada en sectores como: educación, servicios de logística, salud, servicios públicos, manufactura (Nguyen et al., 2024), criptomonedas, finanzas descentralizadas, gestión de la cadena de suministros, propiedad intelectual, sector de energía (Sokienah, 2024), ciberseguridad, seguridad alimentaria, música, gestión de identidades, pasaportes, sufragio, sistemas de aviación, sistemas de vehículos, préstamos de dinero, recaudación de fondos (B. Rawat et al., 2022), cadena de productos farmacéuticos, cadena de alimentos (Agarwal et al., 2022), gestión de carbono, tratamiento de agua, gestión de basura, construcciones de infraestructura (Perera et al., 2022).

Blockchain es una tecnología con gran potencial para promover la cadena de valor del modelo de negocio empresarial (Cruz Calero, 2022; Gavino Merino & others, 2025). Las empresas de construcción pueden aprovechar Blockchain para digitalizar y distribuir datos, interactuar entre ellas y evitar el fraude (Lara Moran, 2024). También, los activos digitales y la seguridad de datos son características robustas de esta tecnología (Gómez Arreaga, 2025).

Las empresas buscan soluciones que aumenten su competitividad en forma global a través de la transformación digital y optimización de procesos (Arguello Lino & Coca Hidalgo, 2023; Mosquera Jarrín, 2023). La innovación tecnológica respalda a los negocios tradicionales y nuevos, con ello es posible mejorar la calidad del servicio y asegurar la información (Miñan Parrales, 2022; Reyes Sarmiento, 2022).

Las soluciones Blockchain ayudan a las empresas en la transformación de los procesos operativos, aumentan la confianza en los datos, conectan los servicios con los procesos de la empresa (Melendrez-Cacedo & Llerena-Izquierdo, 2022; Paguay Intriago, 2024). Además, mantiene la consistencia de datos en un ecosistema empresarial, aunque es un desafío el desarrollar una solución de software que aplique Blockchain (Calle Tapia, 2023; Nguyen et al., 2024).

Muchos problemas se pueden resolver con la tecnología Blockchain que utiliza Contratos Inteligentes, porque la información se actualiza y está a disposición de las partes interesadas,

en forma segura e inmutable, para realizar el seguimiento de materiales que se utilizan en las obras de construcción.

Objetivo general:

Diseñar una arquitectura para aplicar seguridad de datos en la identificación, almacenamiento y rastreo de los materiales y logística en las obras de construcción basada en la plataforma Hyperledger de la tecnología Blockchain.

Objetivos específicos:

- Identificar arquitecturas para aplicar seguridad de datos para la gestión de obras de construcción basado en Blockchain mediante una revisión de artículos relevantes.
- Diseñar una arquitectura para la trazabilidad sobre los planos, inspecciones, maquinarias, flotas de transporte y materiales que se utilizan en las obras de construcción basada en Hyperledger.
- Verificar la factibilidad económica de la solución Blockchain para analizar su costobeneficio.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Concepto de la tecnología Blockchain

Se considera un sistema de transacciones descentralizado, liberado en 2008 por Satoshi Nakamoto. Esta tecnología es un contenido popular para la investigación y aplicación en muchas áreas debido a que garantiza la integridad, transparencia y seguridad en todas las transacciones digitales. La descentralización está integrada en la tecnología Blockchain, los datos se almacenan en “bloques”, y los bloques se guardan en nodos descentralizados, es decir en “computadoras físicas”; dicha descentralización elimina toda autoridad central y minimiza el riesgo de fraude, mala actualización y puntos de fallo. Otro aspecto es la transparencia, por ejemplo, todas las transacciones se guardan en un libro y las identidades de los actores están cifradas con alto nivel de privacidad. Otro aspecto es la autenticidad e integridad de los datos a

través de los mecanismos de consenso y hash criptográfico, esto se llama inmutabilidad; que protege las transacciones contra eliminación o alteración (Sokienah, 2024).

Los componentes principales de una arquitectura Blockchain (B. Rawat et al., 2022):

Libro mayor distribuido que es un repositorio digital.

Contactos Inteligentes que expresan las transacciones almacenadas.

Aplicaciones distribuidas diseñadas para los usuarios.

## 2.2. Tipos de plataformas Blockchain

Las plataformas más conocidas de código abierto son: Ethereum e Hyperledger.

La plataforma Ethereum, su potente motor de Contratos Inteligentes lo hace una plataforma universal para muchas aplicaciones informáticas. Se enfoca en la gestión de activos digitales, que se mantiene por contratos o activos inteligentes para generación de programas de gestión. Se utiliza en entornos empresariales distribuidos con la lógica de negocio personalizada gracias a los Contratos Inteligentes. Aunque, el modo público y su transparencia se denigran al escalar en usuarios y tiene privacidad muy limitada. Ethereum tiene un motor de Contratos Inteligentes para diseñar la lógica en todo tipo de aplicación descentralizada.

La plataforma Hyperledger no tiene problemas de escalabilidad, ni rendimiento, ni privacidad porque tiene operaciones con permisos y un control de acceso fiable; cuenta con controles de privacidad y restringe el acceso al repositorio de transacciones a los actores externos. También, mantiene Contratos Inteligentes para el desarrollo de aplicaciones llamados Chaincode. Alcanza mayor rendimiento y menor latencia que Ethereum en caso que las transacciones sean hasta diez mil.

**Es recomendable elegir Hyperledger**, porque el rendimiento promedio de Hyperledger es más rápido que Ethereum. Hyperledger tiene mecanismos para el control de permisos, restricción de accesos y optimizar la privacidad de los datos. Ofrece arquitectura de módulos personalizados que son fiables. Este permite el despliegue de redes Blockchain públicas y privadas para cualquier tipo de empresa (Nguyen et al., 2024).

### 2.3. Artículos relacionados de Blockchain en el sector de la construcción

El artículo (Yang et al., 2022) presenta un sistema para el seguimiento de puesta y desarme de andamios. El sistema considera: características del trabajo en andamios, un proceso de almacenamiento y verificación. Los autores realizaron un caso práctico con potencial de utilización que mitiga los riesgos de seguridad física para los trabajadores y puede utilizarse como guía en otras áreas del sector de la construcción.

El artículo (Agarwal et al., 2022) destaca la gestión de la cadena de suministro en Blockchain por la transparencia y la trazabilidad, el intercambio de datos, la obstaculización de la falsificación de productos, la generación de confianza y el aseguramiento de las transacciones. Estos son aspectos principales para su uso que se pueden aplicar a los suministros o materiales que se utilizan en las obras de construcción.

El artículo (Baeka et al., 2022) propone un modelo para verificar la idoneidad de las instalaciones en obra y tiene una aplicación descentralizada sobre un servidor Blockchain; el contratista general y el proveedor pueden introducir datos de pedidos y adquisición de andamios. La idoneidad de las instalaciones se verifica mediante algoritmos que realizan comparaciones del cronograma de instalación y cálculo de cantidades adquiridas.

El artículo (Plevris, 2025) realiza un análisis sobre el uso de Blockchain en varios tipos de industrias, como: en sector financiero por transacciones transparentes e inmutables; en gestión de la cadena de suministro por el rastreo y autenticación de productos; en sector sanitario por la confidencialidad de datos de los pacientes; en sector farmacéutico por la trazabilidad de los medicamentos y el combate a la falsificación; en el sector de la construcción por la gestión de los suministros; en procesos de registro de tierras para tener transacciones seguras.

El artículo (Wang et al., 2022) propone un marco para la cadena de suministro en la construcción y desarrollaron algoritmos de Contratos Inteligentes. Aquellos fueron validados con un caso práctico que consigue la gestión del suministro, control en tiempo real y trazabilidad de los materiales; además de conseguir la entrega puntual de materiales prefabricados.

El artículo (Ding et al., 2024) presenta un mecanismo de control de acceso que preserva la privacidad para asegurar el intercambio de datos para la gestión de la cadena de suministro de construcción prefabricada; el sistema prototipo muestra la viabilidad y eficacia.

El artículo (Basheer et al., 2024) presenta un sistema para la gestión de inventario y materiales de construcción, que mejora la trazabilidad y la transparencia durante la cadena de suministro. Con el sistema, las operaciones de proyecto mejoraron su fluidez, se redujeron los órdenes de compra y gastos generales, existe monitoreo de los cambios de datos sobre los materiales durante las actividades de suministro, y es posible visualizar los datos de materiales en tiempo real. Adicionalmente, mejora la toma de decisiones y se reducen los retrasos en la entrega de materiales y las disputas legales entre los interesados del proyecto.

El artículo (Wu et al., 2023) diseñó un marco conceptual en Hyperledger y Contratos Inteligentes, luego desarrollaron un prototipo para mostrar la viabilidad teórica. Esto, soluciona problemas como tener las medidas de calidad de la construcción en papeles, pérdida de documentos y manipulación de las medidas de calidad, y lleva a cero el peligro de rendición de cuentas por la calidad.

El objetivo fue explorar las múltiples funciones de Blockchain en transparencia y trazabilidad en las cadenas de suministro de la construcción; encontraron constructos significativos como Garantía de calidad y cumplimiento, Resolución de disputas y rendición de cuentas, Gestión y verificación de proveedores (Waqar, Mateen Khan, et al., 2024).

El sistema Blockchain soluciona problemas como verificación de terceros. Se probó que un sistema de conocimiento cero genera informes de accidentes, desvincula el grado de anonimato y reduce el costo del informe a \$0,0011 (Nyato et al., 2024).

En Malasia identificaron cinco desafíos que tiene el sector de la construcción como: tecnológicos, entorno laboral, problemas operativos, barreras de privacidad y regulación, y barreras económicas y de planificación; la utilización de Blockchain en proyectos de construcción pueden mejorar por medio de cuestiones económicas y de planificación, a pesar de los desafíos (Waqar, Hannan, et al., 2024).

Diseñaron un modelo conceptual que cumple requisitos funcionales para el reciclaje de residuos de construcción, mejora la supervisión inadecuada y métodos de incentivos imperfectos. Igualmente, elimina los vertederos ilegales de residuos de construcción e incentiva las tasas de reciclaje. El prototipo tiene costos de ejecución de \$4.73 y transacción de \$1.27 (Lin et al., 2024).

Desarrollaron un marco que integra Blockchain y proporciona una plataforma de gestión energética y confiable al sector de la construcción en las ciudades inteligentes; la plataforma Blockchain tiene facturación de la energía que usa monedas digitales. Por su parte, el Contrato Inteligente se maneja con niveles de precios y tarifas de suministro (Khalifa & Marzouk, 2025).

### 3. METODOLOGÍA

En la metodología se utiliza la investigación empírica, que analiza la factibilidad de una solución mediante evidencias empíricas; con enfoque cualitativo sobre la arquitectura Blockchain en obras de construcción que se propone para describir la funcionalidades y componentes; con enfoque cuantitativo sobre las respuestas a las preguntas de investigación obtenidas desde los artículos relevantes, y sobre los costos de factibilidad económica.

Se utilizó la revisión sistemática para el análisis de artículos relevantes como las fases de Planificación, Ejecución e Informe (Touloupou et al., 2022).

En la Fase de Planificación se define las preguntas de investigación, las palabras de búsqueda y bibliotecas. Las preguntas de investigación son: ¿Qué usos tiene esta tecnología en el sector de la construcción de acuerdo a los modelos Blockchain hallados en los artículos relevantes?, ¿Qué componentes se registran en la trazabilidad de los modelos Blockchain hallados y revisados de los artículos relevantes?, ¿De qué forma se verifican los modelos Blockchain hallados en los artículos relevantes?, ¿En qué plataformas Blockchain se realizan los proyectos para seguimiento de los materiales y logística en las obras de construcción?, ¿Cuáles son los participantes-actores en la industria de la construcción dentro de los modelos Blockchain?, ¿Cuáles son las reglas generales en los modelos Blockchain hallados y revisados de los artículos relevantes?

Las palabras de búsqueda son: “Blockchain Building”, “Blockchain Construction project”. Las bibliotecas son: IEEE y ACM.

En la Fase de Ejecución se identifica artículos relevantes, se definen los criterios de inclusión y exclusión, y se ejecuta la selección de artículos. Los criterios de inclusión son: artículos sobre Blockchain y construcciones, desde el año 2022, sólo en idioma inglés. Los criterios de exclusión son: Diferentes al idioma inglés, artículos resumen, documentos libros.

En la Fase de Informe se analizan los datos extraídos de acuerdo a las preguntas de investigación, se realiza una explicación sobre las respuestas a las preguntas de investigación.

La metodología en el diseño de la arquitectura basada en plataforma Hyperledger de Blockchain es: seleccionar el tipo de blockchain, diseño de la arquitectura lógica, diseño de Smart Contract,

Descripción de los componentes de la arquitectura. Se utilizó los siguientes componentes: a) Participantes en una obra de construcción como: Cliente-inversionista, contratista, proveedores, inspectores, responsable de inventario. b) Componentes de la obra de construcción como planos arquitectónicos, inspecciones, maquinarias, flota de transporte y materiales. c) Contrato Inteligente para reglas del negocio como: emisión de OC, producción de materiales, transporte de materiales, entrega de materiales, aceptación de materiales, preparación de facturas, gestión de inventario y consultas.

Se utilizó el enfoque cuantitativo y se detalló los costos financieros expresado en dólares americanos como: Costos iniciales, Costos de entrenamiento, Costo de desarrollo, Costo de escalabilidad y actualización, Análisis de costo-beneficio.

#### 4. RESULTADOS

En esta fase de resultados se desarrollan y se describen los objetivos específicos de esta investigación.

##### 4.1. Identificar arquitecturas para aplicar seguridad de datos para la gestión de obras de construcción basado en Blockchain mediante una revisión de artículos relevantes.

Se ejecutaron diferentes consultas de búsqueda especificadas en la metodología sobre las bibliotecas IEEE y ACM; además se aplicaron los criterios de inclusión que se incluyeron en la búsqueda inicial.

Los resultados devueltos por la IEEE Xplore fueron 75; se eliminaron todos los artículos con fecha de publicación menor al año 2022 que eliminó 38 artículos del conjunto de resultados. Se enviaron las mismas consultas en ACM, donde los resultados devueltos fueron 55; de manera similar, luego de proceso de selección inicial, los artículos publicados antes de 2022 fueron eliminados del conjunto de resultados. Por lo tanto, la colección se redujo en 18 artículos. Tras el proceso de exclusión quedaron 30 artículos para su estudio. El siguiente paso de revisión fue eliminar las duplicaciones, se hallaron 5 duplicaciones.

Para continuar la refinación de los resultados de la búsqueda, se filtraron las fuentes con la lectura de cada resumen del artículo, se eliminaron todos los documentos que no incluían palabras relevantes para el tema de investigación, como “blockchain”, “building” y “building construction”. Al final se redujo el resultado final a 20 artículos.

Tabla 1.

##### Artículos relevantes

<u>Referencias</u>	<u>Unidades</u>
(Baeka et al., 2022), (Li et al., 2022), (Agarwal et al., 2022), (B. Rawat et al., 2022), (Perera et al., 2022), (Wang et al., 2022), (Yang et al., 2022)	7
<u>(Wu et al., 2023)</u>	<u>1</u>
(Sokienah, 2024), (Waqar, Mateen Khan, et al., 2024), (Basheer et al., 2024), (Ding et al., 2024), (Lin et al., 2024), (Nyato et al., 2024), (Waqar, Hannan, et al., 2024), (Nguyen et al., 2024), (Ma et al., 2024), (Wilson et al., 2024)	10
<u>(Plevris, 2025), (Khalifa &amp; Marzouk, 2025)</u>	<u>2</u>
<b>Total</b>	<b>20</b>

Nota: Estudios obtenidos luego de la revisión de literaria de documentos de investigación.

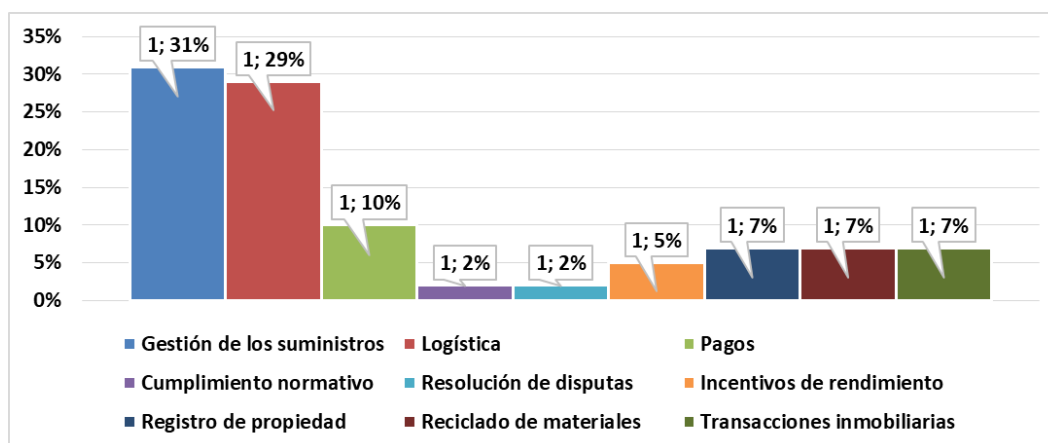
A continuación, se presentan las respuestas a las preguntas de investigación descritas con enfoque cualitativo y cuantitativo.

¿Qué usos tiene esta tecnología en el sector de la construcción de acuerdo a los modelos Blockchain hallados en los artículos relevantes?

Entre los artículos relevantes se conoció los sectores como: Gestión de los suministros en 31%, Logística en 29%, Pagos en 10%, Cumplimiento normativo en 2%, Resolución de disputas en 2%, Incentivos de rendimiento en 5%, Registro de propiedad en 7%, Reciclado de materiales en 7%, y Transacciones inmobiliarias en 7%. Dentro de la construcción la Gestión de los suministros y la Logística suman 60%, en los artículos se encontraron actividades de la gestión de suministros como pedido de materiales y equipos, control de proveedores, la distribución de los materiales de los materiales, pago de materiales, verificación de los recursos. En cuanto a la logística en la construcción, se enfoca en el movimiento eficiente de materiales, con actividades como transporte desde el proveedor, almacenamiento en obra, entregas de acuerdo a la programación del proyecto, y reducir la falta de materiales.

Figura 1.

Uso de Blockchain en sector de la construcción.



Nota: Uso específico dentro del sector.

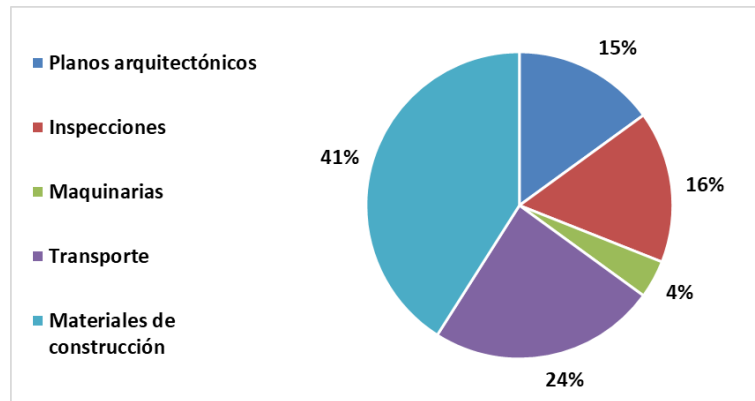
¿Qué componentes se registran en la trazabilidad de los modelos Blockchain hallados y revisados de los artículos relevantes?

Existen diferentes componentes que se registran en los sistemas o modelos Blockchain encontrados en los artículos, entre ellos: Planos arquitectónicos en 15%, Inspecciones en 16%, Maquinarias en 4%, Transporte en 24%, Materiales de construcción en 41%. Dentro de las

revisiones y hallazgos se registran los materiales básicos como: hierro, cemento, bloques, tubos de plástico, herramientas, maquinaria.

Figura 2.

Registro en los modelos Blockchain.



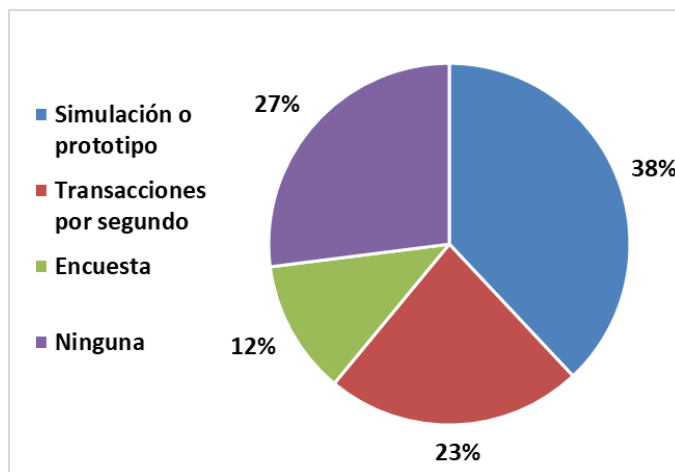
Nota: Elementos que se consideran en la trazabilidad de los materiales.

¿De qué forma se verifican los modelos Blockchain hallados en los artículos relevantes?

Entre los artículos revisados la mayor proporción se realizaron en prototipos, estos presentaron las capturas de pantallas y código, luego le sigue los modelos que fueron teóricos o conceptuales sin pruebas del modelo; en tercer lugar, están las pruebas mediante medición de Transacciones por segundo, aunque algunos trabajos presentan costos por transacción, este último cálculo es simplemente el valor del material dividido para la cantidad del material. La distribución es la siguiente: Simulación o prototipo en 38%, Transacciones por segundo en 23%, Encuesta en 12%, y Ninguna en 27%.

Figura 3.

Verificación de modelos Blockchain.



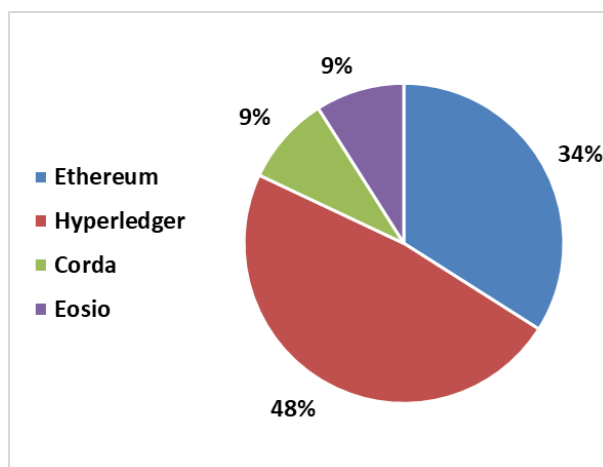
*Nota: Formas de validación en los modelos encontrados.*

¿En qué plataformas Blockchain se realizan los proyectos para seguimiento de los materiales y logística en las obras de construcción?

La plataforma Ethereum permite la automatización de acuerdos y transacciones a través de Smart Contract. La plataforma Hyperledger suministra mayor control y privacidad para aplicaciones informáticas empresariales debido a su estructura con permisos. La plataforma Corda se enfoca en la interoperabilidad, facilita el intercambio de datos entre interesados de confianza. La plataforma Eosio es afín a un sistema operativo para blockchain, que facilita la creación de aplicaciones por desarrolladores. La mayoría de los modelos fueron desarrollados en Hyperledger que es una plataforma privada. La distribución es la siguiente: Ethereum en 34%, Hyperledger en 48%, Corda en 9% y Eosio en 9%.

*Figura 4.*

*Plataformas Blockchain.*



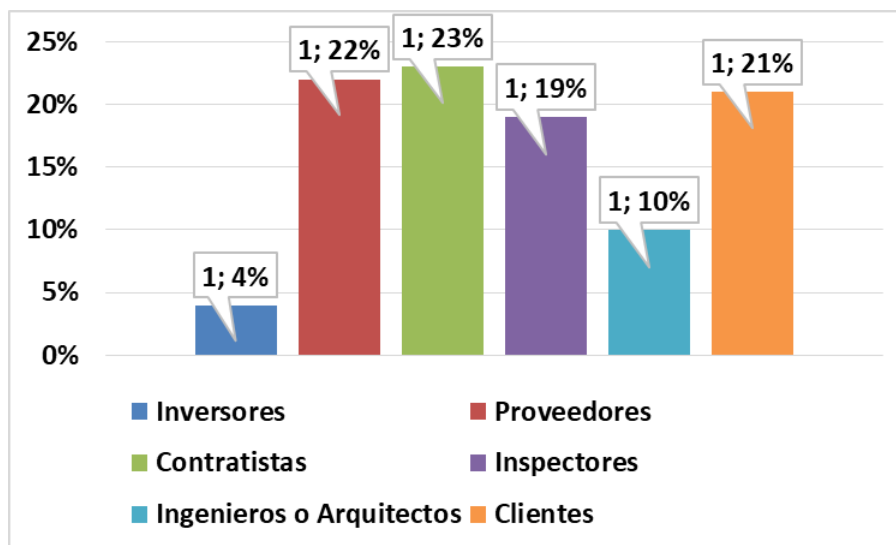
*Nota: Distribución en uso de código para Blockchain.*

¿Cuáles son los participantes-actores en la industria de la construcción dentro de los modelos Blockchain?

Los participantes hallados en las obras de construcción no participan en todos los modelos revisados. El inversionista realiza los depósitos de dinero para la obra; el proveedor suministra materiales y maquinaria con el nombre, cantidad, procedencia, además registra el transporte de los materiales; el contratista realiza órdenes de pedido de los materiales y maquinaria, luego realizan el almacenamiento de los materiales y su estado; los inspectores de obra realizan visitas y verifican los materiales estén acorde a los pedidos; los ingenieros de obra consumen los materiales y registran las cantidades consumidas; los clientes que pueden ser los futuros compradores pueden verificar la procedencia o ruta de los materiales. La distribución es la siguiente: Inversores en 4%, Proveedores en 22%, Contratistas en 23%, Inspectores en 19%, Ingenieros o Arquitectos en 10%, y Clientes en 21%. Los mayores participantes son los proveedores, contratistas, inspectores y clientes.

Figura 5.

Participantes en la cadena de construcciones



Nota: Participantes hallados en los casos del sector de construcción.

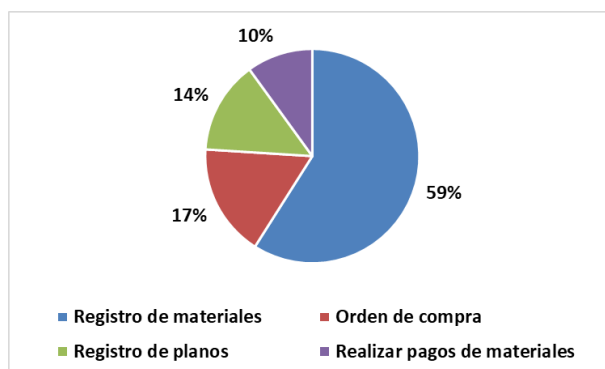
¿Cuáles son las reglas generales en los modelos Blockchain hallados y revisados de los artículos relevantes?

Los materiales y maquinarias son registrados para una trazabilidad durante todas las fases de la construcción. El registro de materiales y maquinaria es para el nombre, cantidad, procedencia,

el transporte, registro de órdenes de pedido de los materiales y maquinaria, registro del almacenamiento de los materiales, registro de su estado, y registro de consumos de los materiales. El registro de planos es para el almacenamiento de los gráficos de las construcciones y que todos los participantes tengan un solo referente sobre la visión global de la obra. Las órdenes de compra son sobre los materiales para la obra. Los pagos de los materiales están vinculados a los pedidos solicitados con anterioridad; se aclara que no todos los modelos que realizan órdenes de compra realizan los pagos de los materiales. La distribución es la siguiente: Registro de materiales en 59%, Orden de compra en 17%, Registro de planos en 14%, Realizar pagos de materiales en 10%.

Figura 6.

Reglas en los Smart Contract



Nota: Funciones centrales en los modelos.

4.2. Diseñar una arquitectura para la trazabilidad sobre los planos, inspecciones, maquinarias, flotas de transporte y materiales que se utilizan en las obras de construcción basada en Hyperledger.

El abastecimiento de materiales en proyectos de construcción es un proceso que participan varios interesados, el proceso inicia con la identificación y cantidad del material necesario para adquirir, transportar, acoger, almacenar, preservar y consumir los materiales, equipos y la información asociada durante el ciclo de vida de la obra. Además, la gestión de materiales es primordial en las cadenas de suministro en el sector de la construcción, en forma especial para el contratista, porque reduce los riesgos adscritos a la falta de existencias o desabastecimiento de los materiales o pérdida o clase de materiales errados durante las entregas.

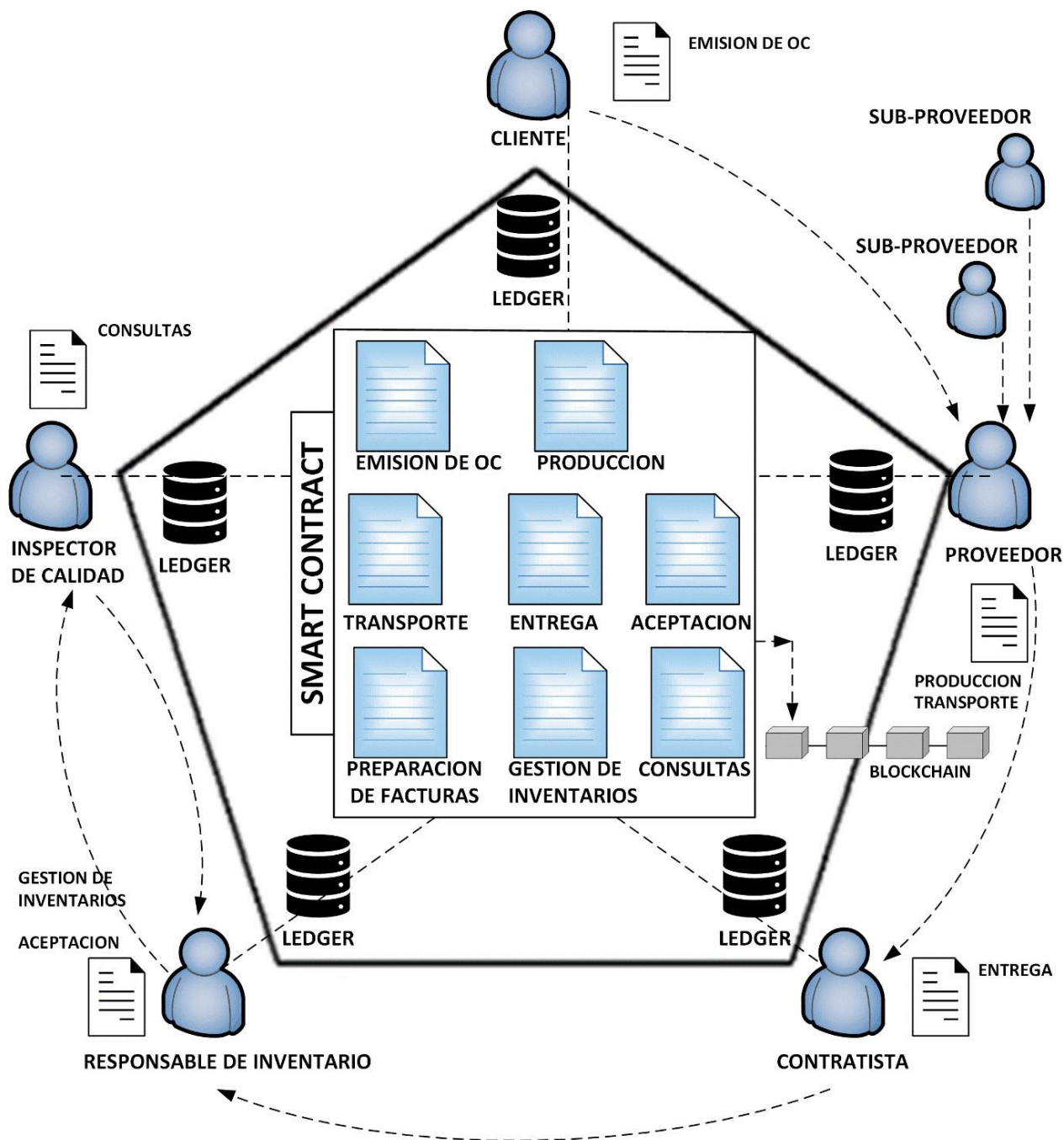
Se propone una arquitectura en Blockchain Hyperledger para que la información de los componentes (planos, inspecciones, maquinarias, flotas de transporte y materiales), este

disponible en tiempo real, sea accesible a los participantes del proyecto, permita supervisar cada actualización sobre los componentes registrados, verificar el estado de los materiales, comparar los datos de las especificaciones iniciales en la orden de compra. Se presenta en la figura 7.

*4.2.1 Propuesta:* La red Blockchain de soporte está compuesta por cinco miembros principales: el contratista, el proveedor, el responsable de inventario, el inspector de calidad y cliente inversionista. Además, pueden existir los proveedores pre-aprobados y los proveedores de logística que pueden adicionarse en forma sencilla a la red a través de un canal independiente. Cada participante de la red tiene una copia del Ledger (libro mayor), para tener acceso a la información de los componentes correspondiente a las órdenes de compra pasadas y actuales.

*Figura 7.*

*Arquitectura para la gestión de componentes en obras de construcción*



*Nota: Participantes con sus funciones que pueden ejecutar en la red Blockchain.*

En esta red propuesta, el material o componente solicitado es el Activo Principal, y las transacciones indican las diversas operaciones relacionadas con los componentes. Las operaciones incluyen la emisión de órdenes de compra, adquisición de material, producción de material, el transporte, entrega de material, el almacenamiento y el proceso de pagos. Las operaciones sobre los componentes se definen en forma detallada como funciones dentro del

Smart Contract (contrato inteligente). La arquitectura propuesta puede aumentar la integridad y la fiabilidad de las transacciones relacionadas con los componentes en la red de suministro.

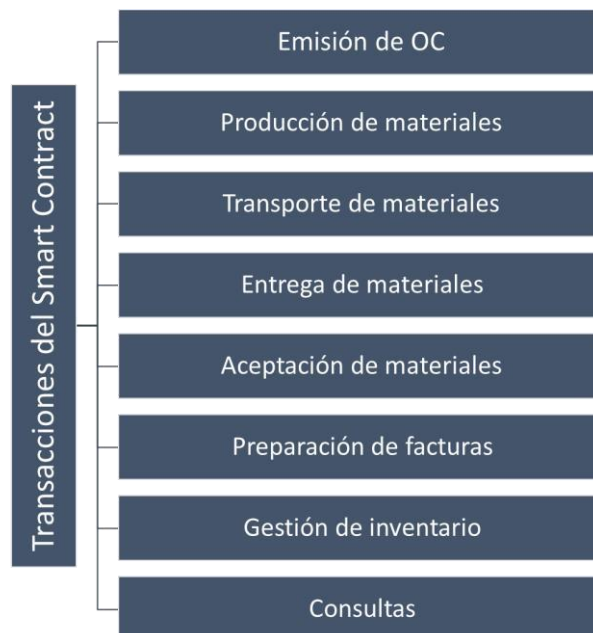
*Funciones para la gestión de los componentes:* Las transacciones se proponen en entorno Hyperledger porque esta red facilita la flexibilidad para adicionar en forma rápida a los proveedores de logística y definir sus roles y canales de comunicación. La figura 8 presenta una idea de estructura y se desglosan en ocho funciones.

#### 4.2.2 Formulación del Smart Contract:

Adoptar Blockchain en la gestión de materiales requiere de la observación de las experiencias en la industria y su actualización mediante la adición de declaraciones lógicas. La figura 7 presentó las funciones con los parámetros en el Smart Contract. A continuación, se describe el flujo de información de las transacciones. Estos procesos emiten y realizan el seguimiento de las Órdenes de Compra (OC) durante el ciclo de vida del suministro de los materiales a través de ocho funciones: emisión de OC, producción de materiales, transporte de materiales, entrega de materiales, aceptación de materiales, preparación de facturas, gestión de inventario y consultas.

Figura 8.

*Definición de funciones en el Smart Contract*



*Nota: Operaciones permitidas por los participantes en la red.*

*Emisión de OC.* El administrador de los suministros invoca esta transacción utilizando su par cliente. Los pares que avalan esta transacción son: el cliente del proyecto, el proveedor de

materiales y el proveedor logístico. Los parámetros para la transacción son: Número de OC, tipo de material, fecha de entrega, valor monetario de la OC, condiciones de pago, estado de la OC y cantidad del material. Los pares que avalan esta transacción, si están de acuerdo, entonces transmiten sus respuestas con firmas; luego de la verificación de las firmas, el Ordering Service recopila las respuestas, realiza un orden cronológico y genera el bloque para la transacción. Luego, este bloque de transacción se envía a validación. Luego de esta validación, el Ledger se actualiza con el nuevo bloque. Cabe destacar que el consenso de la red solo se alcanza si los pares que la endosaron y aceptaron la transacción.

*Producción de materiales:* Esta función actualiza el estado de adquisición de los materiales, el cliente realiza la transacción como orden de compra. El o los proveedores producen o preparan los materiales de acuerdo a las especificaciones del cliente.

*Transporte de materiales:* La Función Transporte realiza el seguimiento sobre el estado de los materiales; el proveedor de materiales realiza la confirmación de disponibilidad del material solicitado por el cliente. Luego, el proveedor de la logística verifica su transporte para la obtención y entrega, y determina los vehículos necesarios. La transacción se realiza luego del consenso entre los proveedores.

*Entrega de materiales:* Después, se activa la Función Entrega para almacenar la fecha y ubicación de entrega acordada con el contratista. Esta función ayuda a evaluar la disponibilidad de espacio para el material adquirido. El parámetro de esta transacción es la fecha de entrega del material, la función debe comparar este parámetro con la fecha de entrega inicial.

*Aceptación de materiales:* Se confirma que el material recibido cumple con las especificaciones solicitadas, la función con sentencias lógicas compara la fecha de entrega final versus la fecha de entrega registrada. Si existe diferencia o discrepancia, se puede aplicar un porcentaje de penalización por retraso sobre el precio de la factura generada desde la orden de compra. Este modelo no propone el uso de criptomonedas, pero si registra una penalización por el retraso.

*Preparación de Facturas:* El contratista puede consultar los datos al momento de preparar los pagos al proveedor, también puede consultar los datos sobre la penalización impuesta. Esto es un enfoque automatizado y transparente que supervisa y garantiza el cumplimiento de las especificaciones y los plazos de entrega sobre los materiales, se facilita la comunicación entre proveedores y contratistas. El gestor de inventario invoca esta función, y comparte el estado de

los materiales con los diferentes participantes de la cadena de suministro, también, el inspector de calidad considera la fecha de aceptación en la preparación del pago.

*Gestión de inventario:* El inventario de materiales se gestiona por la Función Solicitar Material. Está compuesta por el contratista que gestiona la cadena de suministro y el gestor de inventario; el gestor de inventario introduce los parámetros de la transacción, luego el contratista verifica los datos en la cadena de bloques.

*Consulta:* Se diseña para que los participantes visualicen el estado en tiempo real de cualquier orden de compra o material; se puede utilizar en todas las etapas del suministro de material. El parámetro para esta transacción es el identificador de la OC.

*Sobre la Gestión de Materiales:* Se consideraron diferentes etapas durante el proceso de gestión de materiales, inicia con la Planificación de Compras, la Adquisición de Material y Control del Flujo de Materiales. La red Blockchain se debe desarrollar en el final de la planificación, aquí se debe adicionar al proveedor y crear los canales de la red. En la etapa de Adquisición de Material, la arquitectura realiza el seguimiento o trazabilidad del material en tiempo real.

#### 4.3. Verificar la factibilidad económica de la solución Blockchain para analizar su costobeneficio.

La adopción de la tecnología Blockchain, además de sus beneficios, tiene ciertos costos que las empresas deben considerar. Los costos son financieros, inversión de tiempo y recursos básicos para una excelente implementación; en la industria de la construcción, Blockchain tiene gran potencial para optimizar las operaciones y renovar la eficiencia en forma significativa.

*Costos iniciales:* Aquí se incluye los gastos relacionados con el desarrollo o la compra de software Blockchain, el adquirir hardware para la actividad de la red y la posible integración con otros sistemas existentes. Presentar soluciones adaptadas y adecuadas a las necesidades específicas de la industria de la construcción, puede aumentar los costos iniciales. Se utiliza el siguiente software: Hyperledger Fabric como plataforma de blockchain, Hyperledger Explorer Client como explorador de blockchain, Go como Lenguaje de programación para el Smart Contract, Ubuntu Linux para el sistema operativo para máquina virtual, Docker para el motor de contenedores de aplicaciones, y Python para el front-end. Además de un servidor o CPU.

*Costos de entrenamiento:* Este valor está relacionado con la capacitación, porque la solución Blockchain debe integrarse en forma eficaz con las operaciones de construcción y los

participantes que deben entender el uso del sistema informático. Es necesario programas de capacitación y soporte continuo para asegurar que los desarrolladores sean productivos en la implementación, los participantes sean competentes y estén cómodos con la nueva aplicación tecnológica.

*Costo de desarrollo:* El pago a desarrolladores especializados o con experiencia puede garantizar un sistema informático de gran calidad, transparente y escalable. Las fases nombradas son: Análisis de requisitos y diseño, Desarrollo de Smart Contract, Desarrollo de back-end y librerías, Desarrollo de front-end, y Pruebas y auditorías de seguridad.

*Costo de escalabilidad y actualización:* A medida que el proyecto de construcción crece, la aplicación Blockchain necesita escalar para ajustarse al mayor volumen de transacciones, aumento de usuarios y tener nuevos tipos de transacciones. El escalar significa aumento en la infraestructura, el software, inversión en nuevas soluciones para mantener competitividad.

*Análisis de costo beneficios:* Ejecutar un análisis costo-beneficio es necesario para que las empresas del sector de la construcción avalen que la inversión en tecnología Blockchain esté plenamente justificada; el análisis considera los costos financieros, la potencialidad de la tecnología para estimular la innovación, mejorar los resultados del proyecto y amplificar la satisfacción de los participantes. Entre los beneficios que se obtienen en forma financiera están: Eliminación de proveedores-intermediarios, Eliminación de papeleos de entrega-recepción, Ahorro de conciliaciones al pagar abogados, Automatización de órdenes de compra, Automatización de pagos y Pérdida de materiales de construcción.

Aquí, se suman los potenciales beneficios esperados en este proyecto, luego se resta el costo financiero total relacionado al proyecto. Esta es una perspectiva imparcial que no tiene influencias ni opiniones externas. En la tabla 2, se distribuyen los costos detallados y luego se compara con los potenciales beneficios. La Diferencia entre Beneficios - Costos (\$35000 - \$30500) el resultado es \$4500, luego  $4500 / 30500$  es 14.75%. Es decir, los beneficios superan a los costos en 14.75%.

Tabla 2.

*Factibilidad económica de la propuesta*

---

	Unidad	Costo
<b>Costos iniciales</b>		
Software:		
Hyperledger Fabric (Plataforma adoptada de blockchain)	1	2500.00
Hyperledger Explorer Client (Explorador de blockchain)	Licencia	
Go Language (Lenguaje de programación para SContract)		
Ubuntu Linux (sistema operativo para máquina virtual)		
Docker (Motor de contenedores de aplicaciones)		
Python (Lenguaje de programación para front-end)		
Hardware:		
CPU: Intel Xeon Platinum 8200C 2.50GHz	1 CPU	3500.00
Memoria: 8G 3200MHz double data rate 4 (DDR4)		
Disco duro: 500GB		
Ancho de banda 3Mbps		
<b>Costos de entrenamiento</b>		
Capacitación para desarrolladores en: Hyperledger Fabric, Hyperledger Explorer Client, Go Language, Docker, Python	4 meses	3000.00
Capacitación para usuarios en la aplicación informática	1 mes	1500.00
<b>Costo de desarrollo</b>		
Análisis de requisitos y diseño	3 meses	2000.00
Desarrollo de Smart Contract	2 meses	4000.00
Desarrollo de back-end y librerías	3 meses	5000.00
Desarrollo de front-end	2 meses	3000.00
Pruebas y auditorías de seguridad	1 mes	1500.00
<b>Costo de escalabilidad y actualización</b>		
Servidor	Anual	1500.00
Almacenamiento	Anual	1000.00
Soporte	Anual	2000.00
Total de costos		\$30500.00
<b>Análisis de costo beneficios</b>		
Costo del proyecto		30500.00
Beneficios:		
Eliminación de proveedores-intermediarios		10000.00
Eliminación de papeleos de entrega, recepción, otros		5000.00
Ahorro de conciliaciones		3000.00
Automatización de órdenes de compra		4000.00
Automatización de pagos		3000.00
Pérdida de materiales de construcción		10000.00
Total de beneficios		\$35000.00
Diferencia Beneficios - Costos		\$4500.00
Beneficio		14.75%

*Nota: Costos estimados y expresados en dólares de Norte América.*

## 5. DISCUSIÓN

La integración de Blockchain en la industria de la construcción puede renovar la gestión, ejecución y entrega de proyectos; esta tecnología tiene el potencial de abordar varios desafíos de la industria, como las ineficiencias en la gestión de proyectos, las vulnerabilidades de la cadena de suministro y los problemas de transparencia, y aumentar la confianza entre las partes interesadas. El futuro de blockchain en esta industria además de la evolución de la tecnología, es aprovecharla para impulsar la innovación, mejorar la sostenibilidad y transformar el panorama de la industria.

El método habitual en la gestión de proyectos de construcción es engorroso, expuesto a errores humanos, puede crear atrasos significativos y cierta acentuación de la carga administrativa. Los Smart Contract ofrecen soluciones decisivas al automatizar estos procesos; con la utilización de la tecnología Blockchain, los contratos entre los participantes como proveedores, contratistas, inspectores y clientes se codifican en acuerdos inmutables, transparentes y autoejecutables. La automatización de los procesos como el pedido, entrega, recepción, verificación, aseguran el cumplimiento de los términos contractuales y no es necesario la supervisión o intervención manual, esto facilita y agiliza la gestión de proyectos y disminuye el riesgo de disputas.

Los autores (Sokienah, 2024) y (Baeka et al., 2022) enfatizaron la capacidad de Blockchain en proporcionar niveles excepcionales de transparencia y trazabilidad, estos son principales factores en mejorar la autenticidad y los estándares durante los procesos de construcción de obras. El uso del ledger que es inmutable es un componente que garantiza el seguimiento, además que se agiliza el proceso de pago o multas con los proveedores.

Hay que considerar algunos obstáculos como: problemas de escalabilidad, ajustes legales y el requisitos de sostenibilidad ambiental; estos temas pueden generar nuevas investigaciones empíricas y aumentar el conocimiento sobre el uso de Blockchain en la industria de la construcción de obras.

## 6. CONCLUSIÓN

Se logró identificar arquitecturas Blockchain mediante las preguntas de investigación con sus respectivos hallazgos fueron obtenidos desde los artículos científicos revisados y analizados previamente, se hallaron los usos que tiene Blockchain en el sector de la construcción, los componentes que se registran en la trazabilidad, la forma que se verifican los modelos Blockchain, las plataformas Blockchain desarrollados para obras de construcción, se destacaron los participantes-actores en la industria de la construcción, y las reglas generales en los modelos. Finalmente se clasificaron 20 artículos científicos sobre este tema de investigación.

Se logró diseñar una arquitectura en Blockchain Hyperledger para que los planos, inspecciones, maquinarias, flotas de transporte y materiales, se registren y se pueda realizar seguimiento; esta red está compuesta por cinco miembros principales: el contratista, el proveedor, el responsable de inventario, el inspector de calidad y cliente-inversionista. El Smart Contract se forma de ocho funciones: emisión de OC, producción de materiales, transporte de materiales, entrega de materiales, aceptación de materiales, preparación de facturas, gestión de inventario y consultas. Se logró verificar la factibilidad económica de la solución Blockchain, el costo de la arquitectura es \$30500 y los beneficios suman \$35000, esto genera un beneficio del 14.75% porque los beneficios superan a los costos.

Se concluyó que esta propuesta basada en tecnología Blockchain, elimina los datos aislados que afectan las actividades durante la cadena de suministro y distribución de los componentes y materiales de construcción; la tecnología proporciona en forma más sencilla la trazabilidad de los componentes-materiales, se garantiza que las funciones actúen sobre el estado de los materiales que son registrados entre los participantes-actores del proyecto.

## REFERENCIAS

- Agarwal, U., Rishiwal, V., Tanwar, S., Chaudhary, R., Sharma, G., Bokoro, P. N., & Sharma, R. (2022). Blockchain Technology for Secure Supply Chain Management: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 10(July), 85493–85517. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3194319>
- Arguello Lino, R. E., & Coca Hidalgo, J. L. (2023). *Modelo de datos seguros para el sector inmobiliario en Ecuador utilizando tecnología Blockchain*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25036>

- B. Rawat, D., Chaudhary, V., & Doku, R. (2022). Blockchain Technology: Emerging Applications and Use Cases for Secure and Trustworthy Smart Systems. *Journal of Cybersecurity and Privacy*, 1(1), 4–18. <https://doi.org/10.3390/jcp1010002>
- Baeka, C., Leea, D.-Y., & Parka, C.-S. (2022). Blockchain based Framework for Verifying the Adequacy of Scaffolding Installation. *International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Isarc*, 10–12.
- Basheer, M., Elghaish, F., Brooks, T., Pour Rahimian, F., & Park, C. (2024). Blockchain-based decentralised material management system for construction projects. *Journal of Building Engineering*, 82(November 2023), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108263>
- Calle Tapia, W. D. (2023). *Modelo computacional para la trazabilidad de productos farmacéuticos mediante tecnología BLOCKCHAIN*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24067>
- Cruz Calero, G. N. (2022). *Modelo de conexión y datos para el seguimiento de pacientes de hospitales en Ecuador basado en Iot y Blockchain*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23330>
- Ding, S., Hu, H., Xu, F., Chai, Z., & Wang, W. (2024). Blockchain-based security-minded informationsharing in precast construction supply chain management with scalability, efficiency and privacy improvements. *Automation in Construction*, 168(March). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105698>
- EcuadorEnCifras. (2024). *Estadísticas de Edificaciones*.
- Gavino Merino, S. I., & others. (2025). *Modelo distribuido para la seguridad de datos en corresponsales no bancarios basado en Blockchain*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29964>
- Gómez Arreaga, L. A. (2025). *Modelo conceptual para la trazabilidad del proceso del café basado en tecnología Blockchain*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29954>
- INEC-Ecuador. (2024). *Visualizador de registro estadístico de empresas* (p. 1). <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZTM4MTU3NzgtOGE2YS00MDcxLThiYzYtNDE0NzFmOTNhODBiIiwidCI6ImYxNThhMmU4LWNhZWMtNDQwNi1iMGFiLWY1ZTI1OWJkYTExMiJ9>
- Khalifa, F., & Marzouk, M. (2025). Integrated blockchain and Digital Twin framework for sustainable building energy management. *Journal of Industrial Information Integration*, 43(December 2024). <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100747>
- Lara Moran, R. I. (2024). *Arquitectura de información para asegurar la trazabilidad en la distribución de medicina en el Ministerio de Salud Pública basado en Blockchain*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29313>
- Li, J., Greenwood, D., & Kassem, M. (2022). Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases. *Automation in Construction*, 102, 288–307. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.005>
- Lin, Y. H., Wang, J., Niu, D., & Tao, X. (2024). Blockchain-driven framework for construction waste recycling and reuse. *Journal of Building Engineering*, 89(April), 109355. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109355>
- Ma, X., Yuan, H., & Du, W. (2024). Blockchain-Enabled Construction and Demolition Waste Management: Advancing Information Management for Enhanced Sustainability and Efficiency. *Sustainability (Switzerland)*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/su16020721>

- Melendrez-Caicedo, G., & Llerena-Izquierdo, J. (2022). Secure Data Model for the Healthcare Industry in Ecuador Using Blockchain Technology. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 252, 479–489. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8\\_43](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8_43)
- Miñan Parrales, W. E. (2022). *Modelo de arquitectura de gestión de la información para la cadena de suministros en empresas de consumo masivo mediante Iot y Blockchain*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23334>
- Mosquera Jarrín, M. J. (2023). *Modelo de información segura para seguimiento de alimentos orgánicos basado en Blockchain*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26646>
- Nguyen, H. N., Pham, H. A., Huynh-Tuong, N., & Nguyen, D. H. (2024). Leveraging Blockchain to Enhance Digital Transformation in Small and Medium Enterprises: Challenges and a Proposed Framework. *IEEE Access*, 12(June), 74961–74978. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3405409>
- Nyato, E. J., Kimito, E., Yang, J., Lee, D., & Lee, D. (2024). Blockchain-integrated zero-knowledge proof system for privacy-preserving near-miss reporting in construction projects. *Automation in Construction*, 168(June). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105825>
- Paguay Intriago, W. I. (2024). *Modelo de trazabilidad de la leche de vaca para asegurar la calidad en la cadena de distribución en el Ecuador basado en tecnología Blockchain*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28121>
- Perera, S., Nanayakkara, S., Rodrigo, M. N. N., Senaratne, S., & Weinand, R. (2022). Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry? *Journal of Industrial Information Integration*, 17(January), 100125. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100125>
- Plevris, V. (2025). Blockchain applications in the construction industry. *Digital Twin and Blockchain for Sensor Networks in Smart Cities*, 265–290. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-30076-9.00013-3>
- Reyes Sarmiento, M. A. (2022). *Modelo de seguridad y transparencia bancaria para transferencias basado en tecnología Blockchain*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23336>
- Sokienah, Y. Y. (2024). Blockchain as a New Frontier in Interior Design: A Systematic Review of Opportunities, Challenges, and Future Directions. *IEEE Access*, 12(November), 160548–160569. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3439579>
- Touloupou, M., Themistocleous, M., Iosif, E., & Christodoulou, K. (2022). A Systematic Literature Review Toward a Blockchain Benchmarking Framework. *IEEE Access*, 10(July), 70630–70644. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3188123>
- Wang, Z., Wang, T., Hu, H., Gong, J., Ren, X., & Xiao, Q. (2022). Blockchain-based framework for improving supply chain traceability and information sharing in precast construction. *Automation in Construction*, 111(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103063>
- Waqar, A., Hannan, A., Othman, I., Saad, N., & Azab, M. (2024). Exploration of challenges to deployment of blockchain in small construction projects. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), 102362. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102362>
- Waqar, A., Mateen Khan, A., & Othman, I. (2024). Blockchain empowerment in construction supply chains: Enhancing efficiency and sustainability for an infrastructure development. *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, 3(1). <https://doi.org/10.1016/j.iintel.2023.100065>
- Wilson, S., Adu-Duodu, K., Li, Y., Sham, R., Almubarak, M., Wang, Y., Solaiman, E., Perera, C., Ranjan, R., & Rana, O. (2024). Blockchain-Enabled Provenance Tracking for Sustainable Material

Reuse in Construction Supply Chains †. *Future Internet*, 16(4), 1–20.  
<https://doi.org/10.3390/fi16040135>

Wu, H., Zhong, B., Li, H., Guo, J., & Wang, Y. (2023). On-Site Construction Quality Inspection Using Blockchain and Smart Contracts. *Journal of Management in Engineering*, 37(6).  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000967](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000967)

Yang, J., Lee, D., Baek, C., Park, C., Lan, B. Q., & Lee, D. (2022). Leveraging Blockchain for Scaffolding Work Management in Construction. *IEEE Access*, 10, 39220–39238.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3165614>