



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**MODELO DE ARQUITECTURA DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN
PARA LA CADENA DE SUMINISTROS EN EMPRESAS DE CONSUMO MASIVO
MEDIANTE IOT Y BLOCKCHAIN**

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

AUTOR: WILMER ERNESTO MIÑAN PARRALES

TUTOR: JOE LLERENA-IZQUIERDO

Guayaquil – Ecuador

2022

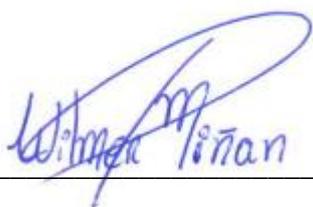
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilmer Ernesto Miñan Parrales con documento de identificación N° 0926661463 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 febrero del año 2022

Atentamente,



Wilmer Ernesto Miñan Parrales

0926661463

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

Wilmer Ernesto Miñan Parrales con documento de identificación No. 0926661463, 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(a) del Artículo académico: *Arquitectura de información para gestión de Cadena de Suministros en una empresa de productos de consumo masivo del Ecuador mediante IoT y Blockchain*, 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 febrero del año 2022

Atentamente,



Wilmer Ernesto Miñan Parrales

0926661463

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: Nombre del trabajo *Arquitectura de información para gestión de Cadena de Suministros en una empresa de productos de consumo masivo del Ecuador mediante IoT y Blockchain*, realizado por *Wilmer Ernesto Miñan Parrales* con documento de identificación N°0926661463, 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 febrero del año 2022

Atentamente,



Joe Frand Llerena Izquierdo

0914884879

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Wilmer Ernesto Miñan Castro y Melba Jacqueline Parrales Macías mis padres, los pilares fundamentales de mi vida, quien con su esfuerzo y dedicación pudieron brindarme mi carrera universitaria, este triunfo es para ellos. Gracias por ser esa guía ese ejemplo día a día de perseverancia. Lo logramos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por los excelentes padres que me brindó en mi vida, gracias a ellos puedo estar culminando esta meta, Agradezco a mi familia por ser ese apoyo día a día en los momentos más difíciles de la carrera, también quiero agradecer a aquellos docentes que brindaron sus conocimientos a lo largo de esta carrera universitaria, mi mejor amiga Ariana que ha estado en esta lucha constante, mi enamorada que estuvo en el camino de mi titulación, a mi tutor que ha sido una guía. El camino fue largo pero lo estamos culminando con la bendición de Dios.

RESUMEN

La utilización de las tecnologías combinadas de Blockchain en un entorno de Internet de las cosas (IoT) para muchos dominios cada vez más ofrece características computacionales para datos verificables y rastreables. El objetivo de esta investigación es diseñar una arquitectura de información para gestión de Cadena de Suministros en una empresa de productos de consumo masivo del Ecuador, mediante tecnologías IoT y Blockchain. Para la propuesta de diseño de una arquitectura de información se utiliza el método empírico analítico, de tipo cuasi experimental con enfoque cualitativo y descriptivo para el análisis de las referencias y propuesta de los componentes de la arquitectura. El resultado es un modelo de arquitectura de información basada en IoT y Blockchain formada por las capas: actores, dispositivos IoT, conexión, nube, Blockchain y aplicación; además se presenta el flujo de información de la arquitectura. Se concluye que la arquitectura contribuye en la gestión logística de información de la materia prima y productos para los consumidores finales de forma inmutable en Blockchain Ethereum, que se obtienen en tiempo real desde los dispositivos y sensores IoT; la conectividad permite a la industria tomar decisiones sobre los datos generados en la cadena de suministros y los consumidores pueden confirmar la trazabilidad de los productos.

Palabras claves: Cadena de suministro, Blockchain, Internet de las cosas, Arquitectura de la información, Contrato inteligente.

ABSTRACT

The use of the combined technologies of Blockchain in an Internet of Things (IoT) environment for many domains increasingly offers computational features for verifiable and traceable data. The objective of this research is to design an information architecture for supply chain management in a mass consumer products company in Ecuador, using IoT and Blockchain technologies. For the design proposal of an information architecture, the analytical empirical method is used, of a quasi-experimental type with a qualitative and descriptive approach for the analysis of the references and proposal of the components of the architecture. The result is an information architecture model based on IoT and Blockchain formed by the layers: actors, IoT devices, connection, cloud, Blockchain and application; In addition, the information flow of the architecture is presented. It is concluded that the architecture contributes to the logistics management of raw material and product information for final consumers in an immutable way in the Ethereum Blockchain, which is obtained in real time from IoT devices and sensors; connectivity allows the industry to make decisions on the data generated in the supply chain and consumers can confirm the traceability of products.

Key words: Supply Chain, Blockchain, Internet of Things, Information architecture, Smart Contract.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. METODOLOGÍA	12
3. RESULTADOS.....	16
4. DISCUSIÓN	25
5. CONCLUSIÓN.....	26
REFERENCIAS	27

1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos de las personas y productos de consumo masivo son importantes en aspectos como la salud, la seguridad, el control de calidad y estándares que se aplican en la Cadena de Suministro (CS) del sector alimentario y tienen alta relevancia (Cocco et al., 2021).

Una CS de alimentos debe garantizar la calidad y datos eficientes para satisfacer los requisitos de operación donde los clientes finales quieren conocer el origen, así las condiciones de transporte y la calidad de los productos son fundamentales. Desde el año 2020 el comercio electrónico de alimentos tiene un gran crecimiento y la CS está obligada a tener características como: trazabilidad, eficiencia y confiabilidad de la información entre los distintos puntos de la red (Tsang et al., 2019) (ver Fig. 1).

Las industrias utilizan servicios e infraestructuras que están formadas por redes, dispositivos, sensores, radiofrecuencias que se encuentran en plataformas Internet of Things (IoT) donde los dispositivos recopilan datos del entorno, colaboran entre sí, envían los datos a través de internet y pueden ser administrados vía remota (Sadawi et al., 2021).

Las plataformas IoT utilizan servicios de la nube, algunos servicios son análisis, bases de datos, servidores, herramientas de ofimática, finanzas, juegos, entre otros, además un tema importante en redes de la nube es la seguridad y privacidad, porque los accesos desde los dispositivos son públicos y remotos, entonces el entorno debe ser confiable y seguro; para eliminar los problemas de seguridad otras lecturas científicas proponen evitar la alteración de los datos a través de Blockchain, por esto se hace necesario entender la tecnología Blockchain para darle un valor agregado a los sistemas IoT (Sadawi et al., 2021). Internet es un canal abierto por donde circulan transacciones, aquí la seguridad y privacidad de los datos son importantes en redes IoT, y para eliminar los problemas como almacenamiento de datos, auditoria de la información, la persistencia y la trazabilidad de los datos, se propone utilizar la tecnología Blockchain (Bodkhe et al., 2020).

La integración de IoT y Blockchain se utiliza en áreas como: agroalimentaria (Cocco et al., 2021), salud, hogar, edificios, industria, redes inteligentes, cadena de suministros, economía (Sadawi et al., 2021), farmacéutica (Subramanian et al., 2021), seguimiento de contenedores (Alkhoori et al., 2021), servicios postales (Maiti et al., 2019), vehículos eléctricos (Subramanian & Thampy, 2021).

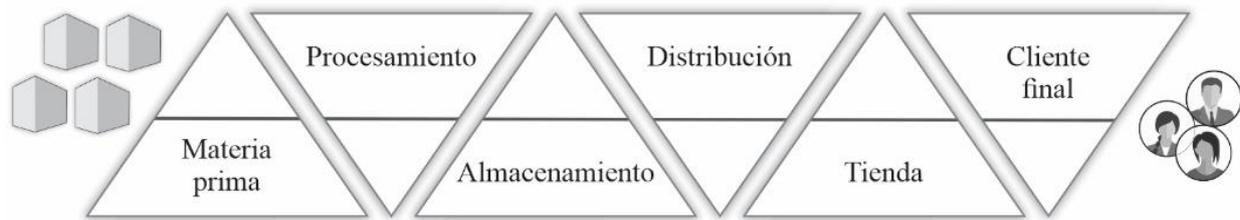


Figura 1. Cadena de suministros general

En Ecuador existen industrias que realizan la producción, comercialización y distribución de alimentos y otros productos de consumo masivo, también este sector se encarga desde la obtención de la materia prima hasta la entrega del producto al consumidor final, en este documento se analiza una empresa que entre sus varias líneas de negocios está el consumo masivo, para lograr la entrega de productos esta empresa realiza la cadena de suministros.

La cadena de suministros puede cambiar en cualquier momento y se afirma que la cadena de suministro del sector alimentación tiene poca digitalización (Cocco et al., 2021) debido a que la ruta de los alimentos es llevada en papel y bases de datos privadas entonces como parte de la globalización es necesario garantizar la seguridad e integridad de la información que pertenece a una cadena de suministros (Cui et al., 2019). Además, se afirma que no es práctico aplicar sólo Blockchain en la trazabilidad de alimentos (Tsang et al., 2019).

La arquitectura que se propone pretende reducir errores de datos, minimizar los riesgos de manipulación, obtener y entregar datos confiables sobre una estructura de trazabilidad de los productos de consumo masivo, aquí los actores y sensores de la cadena de suministros generan datos y no pueden ser actualizados ni manipulados por terceros, de esta forma todos los actores muestran las condiciones del producto, y todo esto basado en IoT y Blockchain. El objetivo es diseñar una arquitectura de información para gestión de Cadena de Suministros en una empresa de productos de consumo masivo del Ecuador mediante tecnologías Internet of Things y Blockchain.

2. METODOLOGÍA

Para la propuesta de diseño de una arquitectura de información se utiliza el método empírico analítico, de tipo cuasi experimental con enfoque descriptivo para el análisis de las referencias y propuesta de los componentes de la arquitectura. Se revisan las bibliotecas virtuales IEEEExplore y ACM. Se busca y seleccionan los documentos con base teórica de propuestas sobre Supply chain, IoT y Blockchain. Se analizan los componentes de las arquitecturas IoT y Blockchain en los artículos científicos. Se escogen al menos 15 artículos científicos relevantes para el análisis de los elementos necesarios de acuerdo con la propuesta de un modelo de arquitectura de IoT y Blockchain que sea aplicable a la cadena de suministros de una empresa de productos de consumo masivo en el contexto ecuatoriano. Se diagrama y explica la arquitectura. Se explican las capas de los participantes, los elementos y el flujo de información requerido.

De acuerdo a Sadawi (Sadawi et al., 2021) se asegura que la integración de Blockchain con IoT minimizan los problemas de despliegue, escalabilidad y seguridad de datos, además es un tema nuevo en los últimos 3 años y Blockchain está en mejora y continuo desarrollo (ver Fig. 2); Lao (Lao et al., 2020) afirma que genera una red segura y verificable. Bencic (Bencic et al., 2019) confirma que en esta integración los participantes comparten/intercambian información sobre los productos en un ambiente sin confianza, y se puede verificar la autenticidad y características del producto.



Figura 2. Integración de IoT y Blockchain

Blockchain es un paradigma relacionado a bases de datos distribuidas, es descentralizada e inmutable (Cocco et al., 2021), es un libro de transacciones que forman una cadena lineal encriptadas y no hay intermediarios entre los participantes (Sadawi et al., 2021); es una cadena

de bloques para guardar y compartir datos que están distribuidos y son persistentes, estos bloques están vinculados mediante un hash y este vínculo asegura la integridad y la no manipulación, los nuevos datos se agregan en nuevos bloques (Bodkhe et al., 2020)(Melendrez-Caicedo & Llerena-Izquierdo, 2022); así como un libro de bloques distribuido que contiene transacciones confidenciales y pertenecen a los participantes no confiables, los bloques están en una red descentralizada (Lin et al., 2020). Los datos mantienen la inmutabilidad e integridad, no es necesaria la intervención de un tercero de confianza, de esta manera es una buena alternativa en sectores que existen varios actores (Cocco et al., 2021)(Ayala Carabajo & Llerena Izquierdo, 2018); las transacciones de datos distribuidos se encuentran entre participantes que no se tienen confianza, las transacciones tienen un sello de tiempo y son inmutables (Sadawi et al., 2021)(Ayala Carabajo et al., 2016), además esta cadena de bloques utiliza protocolo de consenso para adicionar datos, todos los nodos participantes tienen copia de los datos (Lin et al., 2020)(Ayala Carabajo & Llerena Izquierdo, 2017).

Blockchain se aplica en áreas como: cadena de suministro, identidad digital, sistemas de votación, servicios de salud, sistemas de seguros, gestión de activos digitales, IoT (Rodríguez Pesantes, 2021), Inteligencia Artificial, Big Data (Sadawi et al., 2021), ciudades inteligentes (Guaman Villalta, 2021)(Escalante Quimis, 2021), energía, logística (Morán Maldonado, 2021), negocios (Chávez Morán, 2021)(Coello Ochoa, 2021), manufactura, contenidos digitales (Bodkhe et al., 2020)(Aguirre Sánchez, 2021), agricultura (Lin et al., 2020). Hay tres tipos de blockchain: público, privado e híbrido (Sadawi et al., 2021), el tipo público es en plataforma Ethereum, el tipo privado es en plataforma Hyperledger, el tipo híbrido es en plataforma Quorum (Lin et al., 2020). Blockchain se aplica en sectores como: industria agroalimentaria (Cocco et al., 2021), industrial (Sadawi et al., 2021), financiero, cadena de suministros, aerolíneas, automotriz, salud (Subramanian et al., 2021)(Melendrez-Caicedo & Llerena-Izquierdo, 2022).

IoT, es el encuentro de Internet con el mundo real, en este entorno las personas interactúan a través de los dispositivos y sensores donde las estructuras IoT son escalables por la cantidad de dispositivos que se pueden soportar, tal es así que se estima que al año 2020 existen entre 20 y 50 mil millones de dispositivos conectados (Sadawi et al., 2021). Son varios dispositivos interconectados por la red, que capturan y comparten datos del entorno a través de conexiones y servidores por ello se hace posible compartir información, estos los dispositivos o sensores capturan los datos y sirven para tomar de decisiones en línea (Bodkhe et al., 2020). IoT se aplica

en áreas como gobierno, entidades financieras (Sadawi et al., 2021), agricultura inteligente, salud, cadena de suministro, mercados, turismo y gestión energética (Bodkhe et al., 2020).

Propuestas de cadena de suministros en Blockchain. La arquitectura de (Cui et al., 2019) utiliza Blockchain para generar trazabilidad de piezas electrónicas, esta trazabilidad se accede por medio de un ID único en los dispositivos, esto ayuda a evitar o detectar circuitos falsificados; en la arquitectura se registran los materiales, el origen y los puntos de viaje para confirmar la autenticidad de la pieza electrónica, y el rastreo se consulta en la red Hyperledger Fabric. La solución de (Lin et al., 2020) para una cadena de suministros de alimentos que comienza en el sector agrícola y finaliza en el consumidor, se utiliza Blockchain para garantizar la privacidad e integridad de datos, tener confianza entre los participantes.

Propuestas de cadena de suministros en IoT y Blockchain. En una industria agroalimentaria el estudio de (Cocco et al., 2021) utiliza IoT con Raspberry, etiquetas de radio frecuencia y frecuencias de intercambio y Blockchain con la red Ethereum; la información que se recolecta es sobre productos y lotes con el objetivo de transparentar los datos del viaje y calidad de los productos, se inicia con la materia prima y finaliza con el producto final, además existen supervisores en el proceso. En la distribución de alimentos de (Tsang et al., 2019) se propone un sistema de trazabilidad, se utiliza IoT para capturar las características de los alimentos, y se utiliza Blockchain para guardar y compartir la información del tránsito; este sistema ayuda en la toma de decisiones, además se utiliza lógica difusa para evaluar la calidad, además el sistema consta de capa monitorio, conectividad, aplicación, administración de datos y evaluación. En el sector industrial el estudio de (Sadawi et al., 2021) se propone una arquitectura de tres capas para servicios de recolección de datos, transformación y conservación de datos, aunque esta arquitectura también propone procesamiento local para optimizar el tiempo y ser más flexible, además afirman que el proceso de integración es más fuerte. En la distribución farmacéutica, en (Subramanian et al., 2021) se propone transparentar el origen de las medicinas y detectar medicinas falsas, para esto el sistema toma los datos sobre el estado de las medicinas fabricadas a través de IoT Raspberry, los datos se guardan en Blockchain para mantener la seguridad e identificación, además utiliza criptomonedas para comprar las medicinas (Holguín Mendoza, 2021); los participantes de la arquitectura son fabricante, farmacia, doctor y paciente; el cliente final utiliza la aplicación móvil para verificar el estado de las medicinas por medio de un código QR. En el seguimiento de contenedores, el diseño de (Alkhoori et al., 2021) propone la confiabilidad en un entorno sin confianza entre varios participantes, en este diseño el dispositivo

IoT captura la temperatura, humedad, luz y apertura de puertas del contenedor, y los datos se guardan en una red Blockchain Ethereum que está en la nube. En el seguimiento de medicamentos durante la distribución de (Maiti et al., 2019) se utiliza un sensor IoT que captura el estado de la medicina y Blockchain Ethereum para mantener la transparencia y privacidad de los datos, los participantes en esta cadena son compañía de seguros, transportista, autoridad de camino y clientes. En el mercado de vehículos eléctricos, el sistema de (Subramanian & Thampy, 2021) propone confiabilidad y transparencia para auditoria en la vida de vehículos, y la red IoT captura el historial, las cargas de la batería y otras características que determinan el rendimiento de la batería; en este sistema se utiliza Blockchain Ethereum para privacidad de los participantes y los participantes son el fabricante, la electrolinera y el fabricante de la batería; en la compra de electricidad se utiliza criptomoneda y la red Blockchain está en la nube. La solución de (Bencic et al., 2019) propone una gestión descentralizada para conservar la privacidad y evidenciar datos en la cadena de actividades respecto al producto; las interacciones de los participantes capturadas por medio de etiquetas inteligentes es almacenada en Blockchain Ethereum, todos verifican la autenticidad del producto de manera anónima, además el consumidor final evita la productos duplicados o etiquetas alteradas. La arquitectura y algoritmos propuestos por (Alkhader et al., 2020) utiliza plataforma Ethereum para la trazabilidad de productos fabricados, dar acceso a la procedencia de los productos y mantener las transacciones inmutables, también los datos son capturados por dispositivos IoT y almacenados en la cadena de transacciones. En la distribución de alimentos agrícolas de (Bhutta & Ahmad, 2021) se presenta un framework para conservar la seguridad y privacidad que utiliza sensores IoT para control del viaje y utiliza Blockchain para compartir información entre los interesados, además el framework propone la predicción de atrasos con el uso de algoritmos de inteligencia artificial. La integración de estas tecnologías también se utiliza en la distribución de energía eléctrica para realizar seguimiento a redes eléctricas de gran escala, utilizan blockchain para mantener la privacidad de los participantes (Shahzad et al., 2021). El monitoreo y gestión en edificios se utiliza para proteger áreas físicas y sensibles por medio de dispositivos IoT y la protección de los datos se basa en blockchain (Siountri et al., 2019).

3. RESULTADOS

La arquitectura de información busca subir el nivel de seguridad en la trazabilidad, transparencia y auditoría de los productos dentro de la cadena de suministros, en esta arquitectura cada actor que participa en la cadena de suministro pueda revisar las condiciones del producto; de acuerdo con los segmentos de la cadena de suministro de la empresa de consumo masivo se plantea la siguiente arquitectura que adopta IoT para la captura de datos y adopta Blockchain para la consistencia de la información. La arquitectura consta de las siguientes partes:

Los datos que se generan desde el proveedor hasta el consumidor final son capturados por dispositivos IoT, se envían por medio de la red hacia la nube de Internet para almacenarse en una red Blockchain, estos datos pueden ser consultados por medio de aplicaciones informáticas (ver Fig. 3).

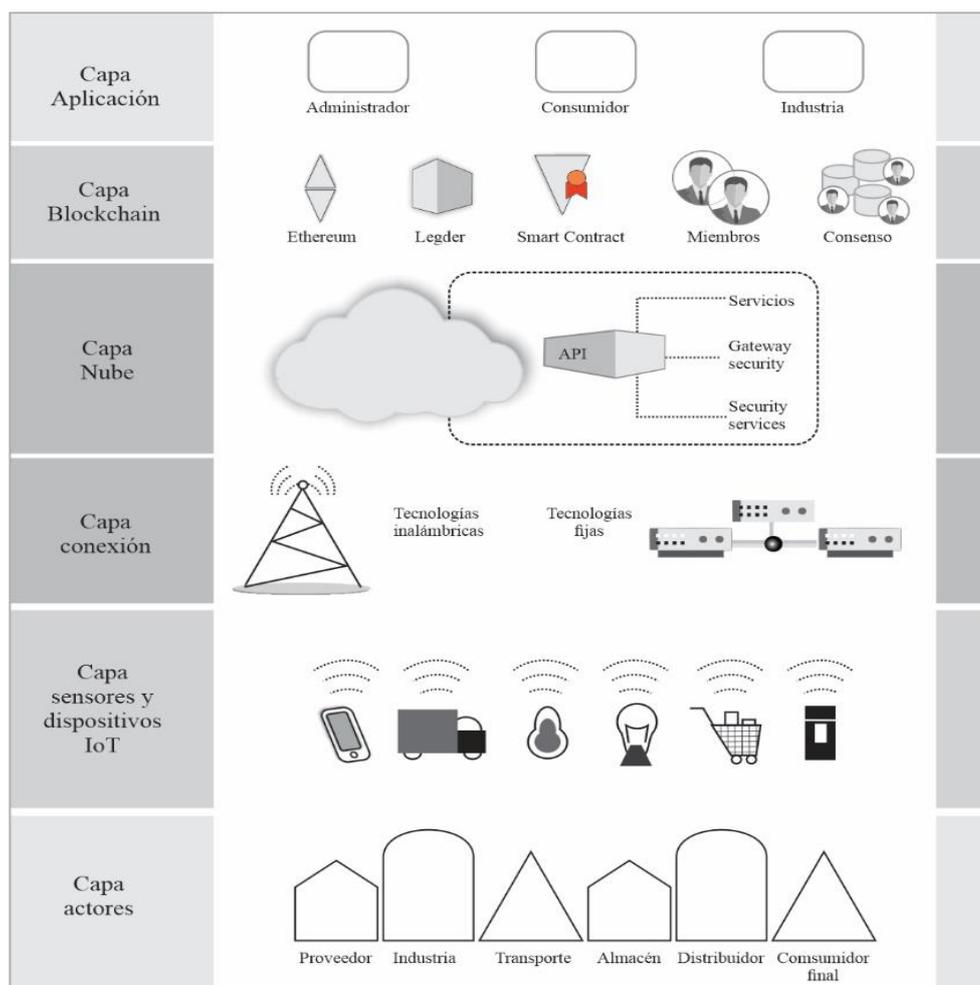


Figura 3. Arquitectura de información en IoT y Blockchain

Capa Aplicación. Las aplicaciones son tipo front-end, se consideran tres para esta capa. La aplicación llamada administrador es tipo web, se define los actores de la red, usuarios generales, accesos para dispositivos, configuraciones de aplicaciones, definición de perfiles, además invoca algunas funciones del Smart contract como: actualizar proveedor, actualizar agricultor, actualizar transportista, actualizar industria, actualizar almacén, actualizar distribuidor, actualizar tienda, adicionar insumos, adicionar materia prima, adicionar producto.

La aplicación industria es tipo móvil sirve para visualizar los datos de semillas, vegetales y productos final durante la cadena de suministros, a esta aplicación tienen acceso todos los actores, excepto el cliente, para ver la trazabilidad de la materia prima y productos finales involucrados en la producción y distribución respectivamente.

La aplicación del consumidor es tipo móvil para celulares o tabletas, puede consultar a través del código de barras del producto, la interface presenta los datos del producto como: código, nombre, marca, categoría, ubicación del proveedor de semilla, ubicación del agricultor, fecha de transporte a la industria, lote, fecha de ingreso a almacén, fecha de salida del almacén, fecha de transporte, nombre del distribuidor, fecha de salida del distribuidor, fecha de entrega a tienda minorista y nombre de la tienda minorista.

Se describe el flujo de información para dar a entender mejor la arquitectura (ver Fig. 4), el actor que es cualquiera en la cadena de suministro, excepto el consumidor final, se genera el movimiento de la materia prima o producto final, luego este dato es capturado por los dispositivos IoT que están conectados a la red por cualquier modo de conexión, envían los datos a Internet, para ello en la nube del proveedor están habilitados los servicios para captación de los datos, estos datos son enviados al almacenamiento en blockchain Ethereum; la aplicación web ayuda al administrador, las aplicaciones móvil ayudan a dar seguimiento de los productos que la industria o consumidor final puede verificar.

La red blockchain está en Ethereum, consta de una aplicación informática para el control de acceso, no necesita permisos especiales para que todos los actores adicionen datos a la red. La red IoT consta de sensores y dispositivos, Raspberry Pi y etiquetas de radio frecuencia, los sensores que se encuentran con los actores en la cadena de suministro permiten obtener y monitorear los datos de los productos individuales y en lotes, y los sensores se conectan con unidades Raspberry Pi que envían los datos a la nube.

Capa Blockchain. En esta capa se integran los datos generados por dispositivos IoT, computación en la nube y Ethereum blockchain, las interacciones de los dispositivos IoT son tomados en tiempo real durante la cadena de suministro, y se almacenan en el blockchain mediante los servicios de la nube.

Se requiere que todos los actores de la arquitectura puedan guardar o leer los datos de blockchain, se recuerda que los consumidores finales de los productos de consumo masivo son indeterminados, la solución en un entorno distribuido con participantes sin confianza en bloques de transacciones públicas es Ethereum, además en Ethereum la grabación de datos toma dos minutos, y lectura es en tiempo real (Bencic et al., 2019), todos los actores necesitan guardar datos capturados excepto los consumidores finales que solo leen en tiempo real la información de la cadena de transacciones.

Para el consenso en la cadena de transacciones se adopta Proof Of Supply Chain Share de (Tsang et al., 2019) que está debidamente justificado y tiene ciertas funciones de PoW y PoS en la cadena de suministros, el PoS crea los bloques a partir de los participantes en lugar de mineros, en cambio PoW y PoS trabajan en base a criptomonedas; el algoritmo de consenso considera tiempo de tránsito, análisis de participantes y volumen de envío en las cadenas de suministro.

Los Smart Contract son códigos autoejecutables que están en la red blockchain y están apegados a un contrato mediante eventos que se ejecutan de manera automática en el momento que un dato se registra en la cadena de bloques (Sadawi et al., 2021), el Smart Contract confirma el guardado de la data en la entrega de cada actor, para simplificar el consenso está formado solo por la industria y el almacén; el algoritmo de consenso certifica la existencia de un solo historial en la cadena de transacciones, en este historial no existen transacciones inválidas.

Se propone las siguientes funciones del Smart Contract: Actualizar proveedor, Actualizar agricultor, Actualizar transportista, Actualizar industria, Actualizar almacén, Actualizar distribuidor, Actualizar tienda, Adicionar insumos, Adicionar materia prima, Adicionar producto, Actualizar estado de insumos, Actualizar estado de materia prima, Actualizar estado de producto y Buscar datos del producto.

Capa Nube. En esta capa se definen los servicios para aceptar los datos enviados por los dispositivos IoT, se define el almacenamiento que está en blockchain, y se definen las

aplicaciones informáticas para seguimiento de la materia prima y productos. Para ello se utiliza un servicio de un proveedor de computación en la nube, se utiliza aplicaciones de interfaz API para obtener los datos de los dispositivos IoT, luego se definen servicios como sistema operativo, servidor de aplicaciones, servidor de páginas web, servicios de conexión y servicios de seguridad. El servicio de almacenamiento escalable se utiliza para la red blockchain.

Capa Conexión. En esta capa el proveedor y agricultor utilizan su propia conexión inalámbrica y conexión a internet, el transportista no necesariamente tiene conexión a internet por eso la industria captura los datos, además la industria tiene conexiones alámbricas, inalámbricas, lectores de radio frecuencia y conexión a internet; el almacén utiliza las mismas conexiones de la industria; el transporte tiene lectores de radio frecuencia y conexión inalámbrica a internet; el distribuidor tiene lectores de radio frecuencia, conexiones alámbricas, inalámbricas e internet; las tiendas minoristas que decidan adicionar datos deben tener lectores de radio frecuencia y conexión a internet; los consumidores finales pueden obtener los datos del producto al leer el código de barras del producto mediante su propia conexión.

Capa Sensores y dispositivos IoT. En esta capa se describen los sensores utilizados y datos que se capturan para luego enviarse a la nube. El proveedor puede utilizar dispositivos IoT para medir el color, medir la humedad, medir los grados y fecha de entrega, luego estos datos son enviados por medio de red wifi propia del proveedor.

El agricultor puede utilizar dispositivos IoT para medir el nitrato, medir etileno, medir la temperatura, medir la maduración y fecha de cosecha, luego estos datos son enviados por medio de red wifi del agricultor. El transportista envía datos como tiempo de viaje y peso bruto de los vegetales, luego estos datos son capturados en el momento de llegada a la industria.

La industria identifica el producto con hora, fecha, lugar de procesamiento y nombre de la industria, luego estos datos se registran en la tarjeta de radio frecuencia asignada a los lotes de productos, y las tarjetas envían los datos por medio de los lectores radio frecuencia (RFID). El almacén que asigna un código y lote al producto elaborado, se utiliza tarjetas de radio frecuencia para capturar los movimientos del producto, estos datos son enviados por medio de red wifi de la empresa, además el sistema de la industria envía los datos de lotes y lugares de destino que pueden ser distribuidores o tiendas minoristas. El transporte de la industria captura de las tarjetas de radio frecuencia la salida del producto, el transporte cuenta con unidad wifi enviar la fecha, hora e identificación de los lotes.

El distribuidor acepta los productos que entran y salen de las instalaciones, aquí los sensores capturan los datos de las tarjetas de radio frecuencia como la hora, fecha y lugar de almacén, luego las tarjetas envían los datos por medio de los lectores RFID; los dispositivos envían los datos hacia la nube a través de la red alámbrica o inalámbrica del distribuidor, además el sistema de inventario envía las cantidades y tiendas de destino. Las tiendas minoristas pueden utilizar lectores de tarjetas de radiofrecuencia para capturar los datos de los productos que reciben, es posible que las tiendas minoristas no tengan dispositivos IoT.

Capa Actores. En la cadena de suministros participan los siguientes actores, el proveedor que entrega los insumos o semillas. El agricultor es el responsable del cultivo y cosecha de los vegetales, es decir la materia prima. El transportista es responsable del movimiento seguro y correcto de los vegetales. La industria acepta la materia prima, procesa y almacena. El almacén que asigna un código y lote al producto elaborado. El transporte de la industria es responsable del movimiento seguro y correcto de los productos de consumo masivo. El distribuidor, en caso de existir un distribuidor este es responsable de mover la mercadería hacia diferentes puntos del país. La tienda minorista que vende los productos de consumo masivo. El consumidor es el actor final quien compra y consume el producto. El consumidor final puede obtener información y la trazabilidad del producto a través de una aplicación móvil, esta aplicación recupera los datos del producto en la cadena de suministro. Todos los actores, excepto el consumidor final, registran los datos del producto a través los sensores IoT y aplicaciones informáticas, estos datos se registran en la nube, a la vez los datos pueden ser texto, voz o imágenes, los datos capturados por sensores son legítimos y no son manipulables. El administrador del sistema gestiona y controla los accesos de los actores, verifica la normalidad de los datos y el acceso de los sensores.

En la nube esta la red Blockchain que contiene Smart Contract, ejecuta eventos o transacciones que actualizan el estado del producto, y en este caso los parámetros son el código del producto, el lote y el nodo.

Se evalúa la metodología utilizada para el detalle de relación de la arquitectura propuesta mediante la contrastación de trabajos relevantes, y se plantea en una tabla de factibilidad y aplicabilidad en empresas del medio.

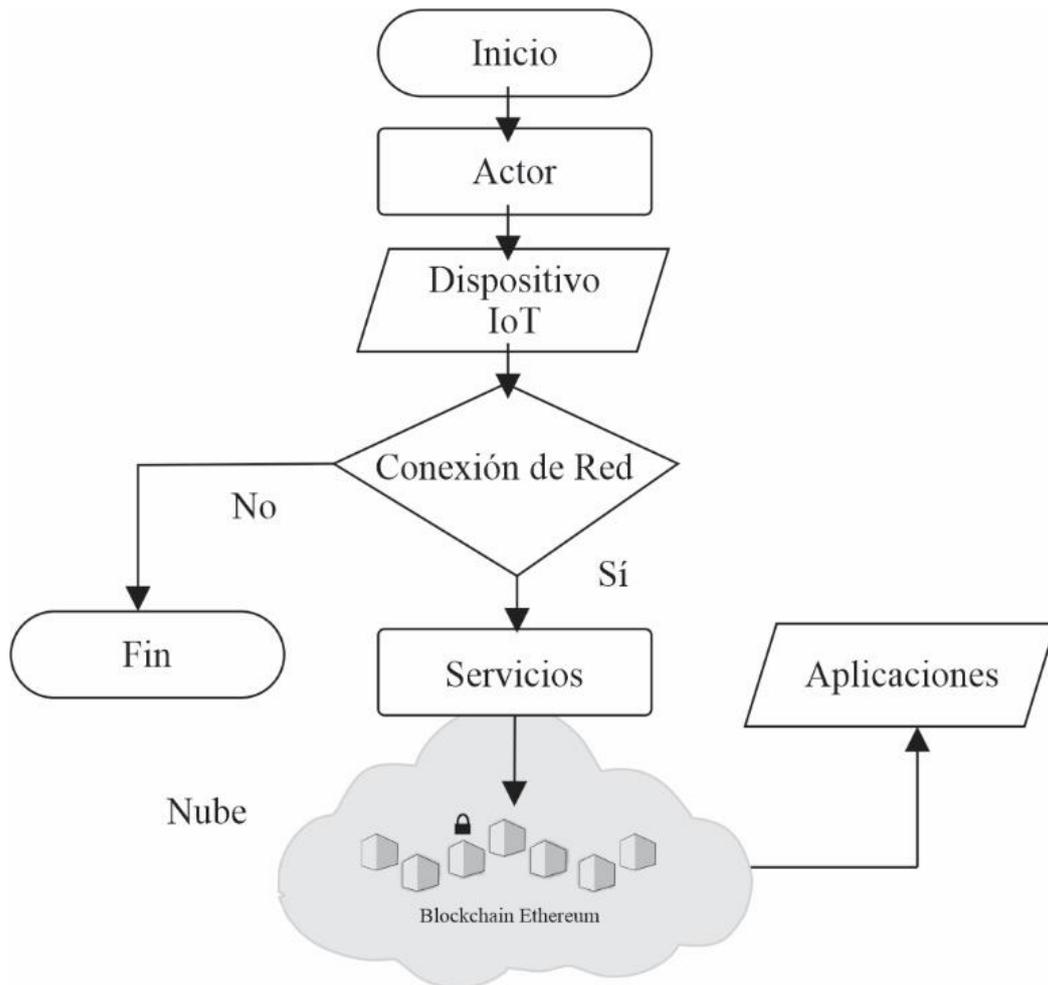


Figura 4. Flujo de información en la arquitectura IoT y Blockchain

Se recolectó en una hoja electrónica las propuestas o trabajos previos con los datos como: el área que aplica, la característica de blockchain que aplica, si aplica blockchain, si aplica IoT, la plataforma utilizada Ethereum o Hyperledger o no especificada, el nombre de los participantes en la arquitectura, el nombre de las capas en la arquitectura, el nombre de los componentes utilizados, si presentan un flujo de información, si es factible su utilización y si es aplicable a nuestro contexto ecuatoriano. Luego se tabula para representar los gráficos que están a continuación junto con sus análisis.

En la tabla 1 se presenta en las columnas seis características de los trabajos relevantes previos, en la columna plataforma están las Ethereum o Hyperledger, en color plomo están los que no nombran alguna plataforma; el color azulado significa que es una afirmación y el color marron significa que es una negación en la aplicación de blockchain o IoT o flujo o factible o aplicable.

Tabla 1. Factibilidad y aplicabilidad en empresas ecuatorianas

Referencia	Plataforma	Block.	IoT	Flujo	Factible	Aplicable
(Cocco et al., 2021)	Ethereum	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Tsang et al., 2019)		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Sadawi et al., 2021)		Sí	Sí	Sí	No	No
(Subramanian et al., 2021)		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Alkhoori et al., 2021)	Ethereum	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Maiti et al., 2019)	Ethereum	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Cui et al., 2019)	Hyperledger	Sí	No	Sí	Sí	Sí
(Lao et al., 2020)		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Bencic et al., 2019)	Ethereum	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Lin et al., 2020)		Sí	No	Sí	Sí	Sí
(Alkhader et al., 2020)	Ethereum	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Bhutta & Ahmad, 2021)		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Shahzad et al., 2021)	Hyperledger	Sí	Sí	No	No	No
(Siountri et al., 2019)	Hyperledger	Sí	Sí	No	No	No
(Baralla et al., 2019)	Hyperledger	Sí	No	Sí	Sí	Sí
(Negka et al., 2019)	Ethereum	Sí	No	Sí	No	No
(Dasaklis et al., 2019)	Ethereum	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
(Malik et al., 2019)	Hyperledger	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Autores.

El 32% de los trabajos relevantes tratan sobre Distribución de alimentos en general, el 11% tratan sobre Distribución de productos farmacéuticos, 16% tratan sobre Procedencia o actividades de productos, y los demás trabajos 59% tratan sobre industria, seguimiento de contenedores, vehículos eléctricos, piezas electrónicas, tráfico de red, distribución de energía eléctrica y monitoreo en edificios.

En características de blockchain que los trabajos relevantes utilizan primero está la Trazabilidad en 44%, luego Privacidad en 24%, luego Confiabilidad y Transparencia en 12% cada una, Integridad y Protección en 4% cada uno (ver Fig. 5).

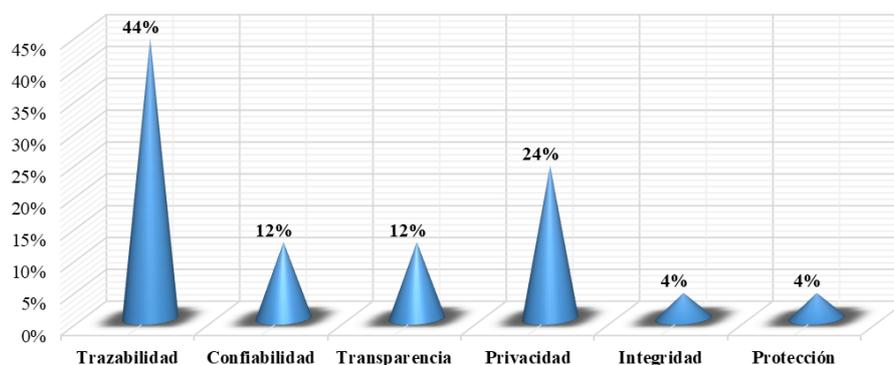


Figura 5. Características de Blockchain

El 100% de los trabajos relevantes tratan sobre blockchain, pero el 21% no utiliza IoT en su contenido, el 79% si utilizan IoT para capturar datos y enviarlos a la red blockchain (ver Fig. 6).

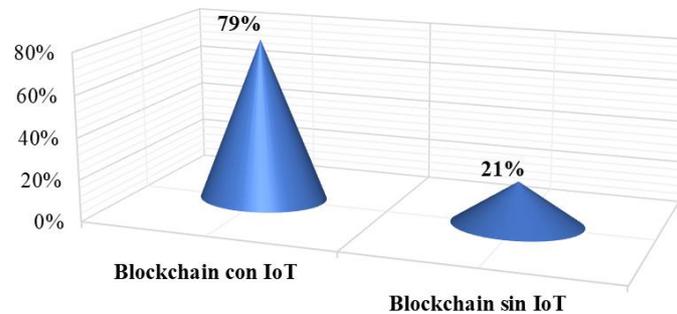


Figura 6. Porcentaje de utilización de tecnologías

El 79% de los trabajos previos presentan el flujo de datos que necesita la propuesta, y 11% no lo presentan, aquí se entiende que el flujo de datos ayuda a explicar mejor el propósito de las arquitecturas.

Las plataformas que cada trabajo previo evidencia son: el 48% propone sobre Blockchain Ethereum, el 26% propone sobre Hyperledger, y otro 26% no especifica la plataforma que utiliza (ver Fig. 7).

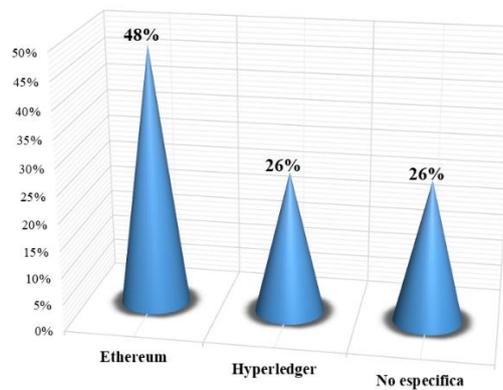


Figura 7. Utilización de plataformas

Entre los participantes más nombrados en las arquitecturas están los Productores o fabricantes en 35%, los Consumidores o clientes en 35%, y los Distribuidores en 30%, con esto se entiende que los participantes tienen importancia en los diseños.

Entre los componentes más utilizados o nombrados en los trabajos previos están los sensores en 52% y los dispositivos en 48%, se entiende que los recolectores de datos son importantes en los diseños.

Entre las capas más utilizados o nombradas en los trabajos previos están la capa blockchain en 65% y la capa dispositivos en 35%, se entiende que los nombres correctos a las capas dan una buena descripción de su propósito.

De acuerdo al análisis realizado a los trabajos relevantes (artículos científicos de IEEEExplore y ACM, y al análisis de la tabla 1, se considera que el 79% de los trabajos previos son factibles y aplicables a nuestro contexto porque el contenido de los trabajos detallan de manera explícita la arquitectura, las capas, los componentes y el flujo de datos; no se puede adoptar todo lo analizado en los trabajos, pero si es posible tomar las experiencias en diseños e implementaciones en base al 21% de los trabajos relevantes que no son factibles porque muestran poca información (ver Fig. 8).

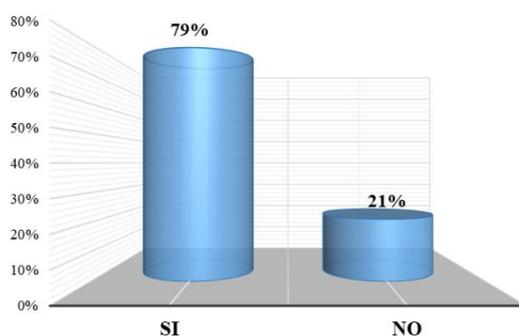


Figura 8. Factibilidad y aplicabilidad

4. DISCUSIÓN

Esta propuesta aumenta el nivel de seguridad en la información de los productos durante la cadena de suministros, identifica la trazabilidad de los productos, mantiene la transparencia en los datos de la cadena de suministros, y mejora la confianza al tener blockchain en el ambiente IoT. Se propone una arquitectura que está diseñada para lograr la integridad, seguridad y trazabilidad en la información de los productos mediante la convergencia de tecnologías, captura de datos, almacenamiento y visualización durante la cadena de suministros, además la arquitectura es escalable en cantidad dispositivos, conexiones, almacenamiento y servicios. La integración de IoT con blockchain es un gran aporte en la gestión, existen nuevas oportunidades y desafíos, además en esta propuesta existe el desafío en costo de tiempo y límites del almacenamiento en la red blockchain que todos los actores generan datos y son guardados en la red blockchain. El uso de blockchain asegura la inmutabilidad de los datos durante la cadena de suministros, esto hace que los datos sean confiables entre todos los actores, y que los datos obtenidos en la capa sensores IoT mantengan su integridad en el tiempo.

Esta propuesta es un diseño de una arquitectura de información, no se contempló costos de dispositivos IoT, ni costos de nube, ni tiempos de desarrollo de aplicaciones informáticas, ni tiempos de implementación de la red física IoT, ni tiempos de implementación de la red blockchain, ni recursos humanos necesarios para implementar la arquitectura. La tabla 1 asiste en el entendimiento de los detalles de las arquitecturas de trabajos previos encontrados en bibliotecas científicas basado en que el 79% de los trabajos previos son factibles y aplicables a nuestro contexto porque el contenido de los trabajos detalla de manera explícita la arquitectura, las capas, los componentes y el flujo de datos.

5. CONCLUSIÓN

Se concluye que la arquitectura contribuye en la gestión logística de información de la materia prima y productos para los consumidores finales de forma inmutable en Blockchain Ethereum que se obtienen en tiempo real desde los dispositivos y sensores IoT, la conectividad permite a la industria tomar decisiones sobre los datos generados en la cadena de suministros, y los consumidores pueden confirmar la trazabilidad de los productos.

Se diseña una arquitectura de información para gestión de Cadena de Suministros de acuerdo con una empresa de productos de consumo masivo, se recuerda que existen empresas cuya cadena puede ser más extensa o pequeña. El detalle descrito y graficado de los participantes, elementos y el flujo de información de la arquitectura permite contrastar con la propuesta presentada. La arquitectura que se presenta en este documento adopta características, componentes y capas de trabajos relevantes, la contrastación con los trabajos relevantes evidencia una propuesta factible al contexto de la investigación.

REFERENCIAS

- Aguirre Sánchez, M. J. (2021). *Tecnologías de Seguridad en Bases de Datos: Revisión Sistemática*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20566>
- Alkhader, W., Alkaabi, N., Salah, K., Jayaraman, R., Arshad, J., & Omar, M. (2020). Blockchain-Based Traceability and Management for Additive Manufacturing. *IEEE Access*, 8, 188363–188377. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3031536>
- Alkhoori, O., Hassan, A., Almansoori, O., Debe, M., Salah, K., Jayaraman, R., Arshad, J., & Rehman, M. H. U. (2021). Design and Implementation of CryptoCargo: A Blockchain-Powered Smart Shipping Container for Vaccine Distribution. *IEEE Access*, 9, 53786–53803. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3070911>
- Ayala Carabajo, R., & Llerena Izquierdo, J. (2017). *Tercer Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14450>
- Ayala Carabajo, R., & Llerena Izquierdo, J. (2018). *4to. Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad. Memoria académica*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16318>
- Ayala Carabajo, R., Llerena Izquierdo, J., Parra, P., Vega Ureta, N., Hernández, A., Romero, I., Silva, J., Rojas, T., Pérez Gosende, P., Yaguana, T., Cueva, J., Sumba, N., Gonzaga Acuña, A., López Chila, R., Caballero, E., Portugal, D., Medina, F., Mendieta, N., Caamaño, L., ... Parra, P. (2016). *Segundo Congreso Salesiano de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad Memoria académica*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12776>
- Baralla, G., Pinna, A., & Corrias, G. (2019). Ensure Traceability in European Food Supply Chain by Using a Blockchain System. *2019 IEEE/ACM 2nd International Workshop on Emerging Trends in Software Engineering for Blockchain (WETSEB)*, 40–47. <https://doi.org/10.1109/WETSEB.2019.00012>
- Bencic, F. M., Skocir, P., & Zarko, I. P. (2019). DL-Tags: DLT and Smart Tags for Decentralized, Privacy-Preserving, and Verifiable Supply Chain Management. *IEEE Access*, 7, 46198–46209. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909170>
- Bhutta, M. N. M., & Ahmad, M. (2021). Secure Identification, Traceability and Real-Time Tracking of Agricultural Food Supply During Transportation Using Internet of Things. *IEEE Access*, 9, 65660–65675. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3076373>
- Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N., & Alazab, M. (2020). Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 8, 79764–79800. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988579>
- Chávez Morán, M. J. (2021). *Estudio de los patrones de seguridad para la atenuación de las irregularidades, las debilidades y amenazas en empresas de servicios de telecomunicaciones*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20568>
- Cocco, L., Mannaro, K., Tonelli, R., Mariani, L., Lodi, M. B., Melis, A., Simone, M., & Fanti, A. (2021). A Blockchain-Based Traceability System in Agri-Food SME: Case Study of a Traditional Bakery. *IEEE Access*, 9, 62899–62915. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3074874>
- Coello Ochoa, I. N. (2021). *Análisis de ciberataques en organizaciones públicas del Ecuador y sus impactos administrativos*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20738>
- Cui, P., Dixon, J., Guin, U., & Dimase, D. (2019). A Blockchain-Based Framework for Supply Chain Provenance. *IEEE Access*, 7, 157113–157125. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949951>
- Dasaklis, T. K., Casino, F., & Patsakis, C. (2019). Defining granularity levels for supply chain traceability based on IoT and blockchain. *Proceedings of the International Conference on Omni-Layer Intelligent Systems, Part F1481*, 184–190. <https://doi.org/10.1145/3312614.3312652>
- Escalante Quimis, O. A. (2021). *Prototipo de sistema de seguridad de base de datos en organizaciones públicas para mitigar ataques cibernéticos en Latinoamérica*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20576>
- Guaman Villalta, M. G. (2021). *Hyperledger Blockchain para la seguridad en bases de datos un mapeo sistemático*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20320>

- Holguín Mendoza, J. D. (2021). *Categorización de protocolos de seguridad en criptomonedas para mitigar ataques informáticos: una revisión sistemática*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20915>
- Lao, L., Li, Z., Hou, S., Xiao, B., Guo, S., & Yang, Y. (2020). A Survey of IoT Applications in Blockchain Systems. *ACM Computing Surveys*, 53(1), 1–32. <https://doi.org/10.1145/3372136>
- Lin, W., Huang, X., Fang, H., Wang, V., Hua, Y., Wang, J., Yin, H., Yi, D., & Yau, L. (2020). Blockchain Technology in Current Agricultural Systems: From Techniques to Applications. *IEEE Access*, 8, 143920–143937. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3014522>
- Maiti, A., Raza, A., Kang, B. H., & Hardy, L. (2019). Estimating Service Quality in Industrial Internet-of-Things Monitoring Applications With Blockchain. *IEEE Access*, 7, 155489–155503. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2948269>
- Malik, S., Dedeoglu, V., Kanhere, S. S., & Jurdak, R. (2019). TrustChain: Trust Management in Blockchain and IoT Supported Supply Chains. *2019 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*, 184–193. <https://doi.org/10.1109/Blockchain.2019.00032>
- 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
- Morán Maldonado, N. M. (2021). *Estado de la Ciberseguridad en las Empresas del Sector Público del Ecuador: Una Revisión Sistemática*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20243>
- Negka, L., Gketsios, G., Anagnostopoulos, N. A., Spathoulas, G., Kakarountas, A., & Katzenbeisser, S. (2019). Employing Blockchain and Physical Unclonable Functions for Counterfeit IoT Devices Detection. *Proceedings of the International Conference on Omni-Layer Intelligent Systems, Part F1481*, 172–178. <https://doi.org/10.1145/3312614.3312650>
- Rodríguez Pesantes, R. P. (2021). *Seguridad en dispositivos IOT en Organizaciones de América Latina*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20970>
- Sadawi, A. Al, Hassan, M. S., & Ndiaye, M. (2021). A Survey on the Integration of Blockchain With IoT to Enhance Performance and Eliminate Challenges. *IEEE Access*, 9, 54478–54497. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3070555>
- Shahzad, A., Zhang, K., & Gherbi, A. (2021). Privacy-preserving smart grid traceability using blockchain over IoT connectivity. *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, 699–706. <https://doi.org/10.1145/3412841.3441949>
- Siountri, K., Skondras, E., & Vergados, D. D. (2019). Towards a Smart Museum using BIM, IoT, Blockchain and Advanced Digital Technologies. *Proceedings of the 3rd International Conference on Vision, Image and Signal Processing*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3387168.3387196>
- Subramanian, G., SreekantanThampy, A., Valbosco Ugwuoke, N., & Ramnani, B. (2021). Crypto Pharmacy – Digital Medicine: A Mobile Application Integrated With Hybrid Blockchain to Tackle the Issues in Pharma Supply Chain. *IEEE Open Journal of the Computer Society*, 2(January), 26–37. <https://doi.org/10.1109/OJCS.2021.3049330>
- Subramanian, G., & Thampy, A. S. (2021). Implementation of Hybrid Blockchain in a Pre-Owned Electric Vehicle Supply Chain. *IEEE Access*, 9, 82435–82454. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3084942>
- Tsang, Y. P., Choy, K. L., Wu, C. H., Ho, G. T. S., & Lam, H. Y. (2019). Blockchain-Driven IoT for Food Traceability With an Integrated Consensus Mechanism. *IEEE Access*, 7, 129000–129017. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940227>