

GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES



Esta obra está publicada bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
TRUJILLO

FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRUJILLO, PERÚ
Julio, 2023

INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES APPLIED IN THE SUPPLY CHAIN. A SYSTEMATIC REVIEW

Maricielo Estefany Caciano Arroyo¹; Miriam Maryori Horna Maguiña¹; Melvin Kevin Lopez Asto¹; Luz Maria Solano Quincho¹; Antony Fernando Vasquez Cabrera¹, Joe Alexis Gonzalez Vasquez^{1*}

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

*Autor correspondiente: jgonzalezv@unitru.edu.pe

ABSTRACT

This current research article investigates the effect of technologies implemented on the Internet of Things (IoT) supply chain. It examines the technologies used, such as smart sensors, RFID tags and tracking devices, which improve the efficiency and optimization of logistics processes. These technologies provide visibility and traceability facilitating the ability to make immediate decisions. In addition, the types of IoT technologies used in the supply chain, such as product monitoring, temperature control and inventory management, are analyzed. Also, the programming languages used to develop applications that integrate IoT devices with supply chain management through systems are investigated. In conclusion, this study provides a global perspective of these technologies applied in the supply chain, highlighting their impact on improving efficiency, decision making and traceability in logistics processes.

Keywords: Intelligent systems; automation; logistics

TECNOLOGÍAS DEL INTERNET DE LAS COSAS APLICADAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

RESUMEN

Este artículo de investigación actual investiga el efecto de las tecnologías implementadas en la cadena de suministro del Internet de las Cosas (IoT). Se examinan las tecnologías utilizadas, como sensores inteligentes, etiquetas RFID y dispositivos de seguimiento, que mejoran la eficiencia y optimización de los procesos logísticos. Estas tecnologías brindan visibilidad y trazabilidad facilitando la capacidad de tomar decisiones de manera inmediata. Además, se analizan los tipos de tecnologías de (IoT) empleadas en la cadena de abastecimiento, como la monitorización de productos, el control de temperatura y la gestión de inventario. Asimismo, se investigan los lenguajes de programación utilizados para desarrollar aplicaciones que integren los dispositivos IoT con la administración de la cadena de abastecimiento mediante sistemas. En conclusión, este estudio proporciona una perspectiva global de estas tecnologías aplicadas en la cadena de suministro, destacando su impacto que tiene en la mejora de la eficiencia, toma de decisiones y trazabilidad en los procesos logísticos.

Palabras clave: Sistemas Inteligentes; automatización; logística.

1. Introducción

La cadena de abastecimiento cubre todas las acciones involucradas durante el procedimiento de transformar recursos básicos en mercancías finalizadas. La circulación de productos, información y servicios es vital en cualquier industria, ya que garantiza la entrega eficiente y oportuna de recursos a los clientes. Contribuye al nivel de competitividad y el logro de objetivos por parte de las organizaciones. En los últimos tiempos, el Internet de las Cosas ha transformado la manera en que se administran y operan las cadenas de suministro. [29]

Internet de las Cosas es un sistema en el que personas y objetos se conectan y comparten información para llevar a cabo acciones. Estos dispositivos están equipados con la capacidad de comunicarse entre sí y con los sistemas de información, lo que permite un mayor nivel de automatización, visibilidad y control dentro de la cadena de abastecimiento. [12]

Además, la IoT mejora el rastreo y la claridad en la cadena de abastecimiento, especialmente en sectores como la alimentación y la farmacéutica. Permite garantizar la calidad y el cumplimiento de los estándares al monitorear constantemente los productos en toda la cadena, asegurando su origen y condiciones de transporte y almacenamiento, garantizando así la seguridad de los productos.

En resumen, la IoT está revolucionando la cadena de abastecimiento al facilitar la comunicación y colaboración entre los distintos actores involucrados. La información en tiempo real compartida a través de la IoT permite una mejor coordinación de actividades, una respuesta más rápida a cambios y contingencias, y una toma de decisiones más ágil. Estas tecnologías están generando nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia, aumentar la visibilidad y fomentar la colaboración en todas las fases de la cadena de abastecimiento. Además, permiten a las organizaciones impulsar la innovación y adaptarse a un entorno empresarial dinámico y competitivo.

2. Materiales y métodos

2.1 Tipo de estudio:

La presente investigación fue realizada mediante una revisión sistemática utilizando la metodología PRISMA con el propósito de analizar los estudios científicos publicados en revistas especializadas disponibles sobre el tema seleccionado.

2.2 Fundamentación de la metodología:

La metodología PRISMA se utilizó debido a su enfoque riguroso y transparente para realizar revisiones sistemáticas. Proporciona una estructura clara y metodológica que garantiza la inclusión de estudios relevantes y reduce el riesgo de sesgos.

2.3 Estrategia de búsqueda:

Se ejecutó una exhaustiva búsqueda en varias bases de datos académicas para identificar estudios relevantes publicados durante el período de estudio comprendido entre 2019 y 2023. Las bases de datos utilizadas fueron Google Académico, Semantic Scholar, Redalyc, Scopus y Scielo.

2.4 Criterios de inclusión y exclusión:

Durante el procedimiento de elección de los estudios, se establecieron criterios relevantes para la inclusión y exclusión. Los criterios de inclusión incluyeron: idioma en español e inglés, estudios publicados entre 2019 y 2023; y, por último, estudios encontrados en las bases de datos recopiladas. En la exclusión los criterios comprendieron: estudios no relacionados con el tema de investigación, duplicados y estudios publicados antes de 2019 o después de 2023.

2.5 Análisis bibliométrico

Se realizó un análisis biométrico utilizando el software VOSviewer para identificar las palabras clave relevantes en la revisión sistemática. Se llevó a cabo una exploración exhaustiva en la plataforma de almacenamiento de información SCOPUS, utilizando funciones avanzadas de búsqueda y se extrajeron los artículos más relevantes para nuestra investigación, como se observa en la Figura 1. La búsqueda se basó en los términos clave "supply chain", "IoT" (Internet of Things) y se limitó a las áreas de "COMP" (Informática), "ENGI" (Ingeniería). Además, se incluyeron documentos en inglés y español.

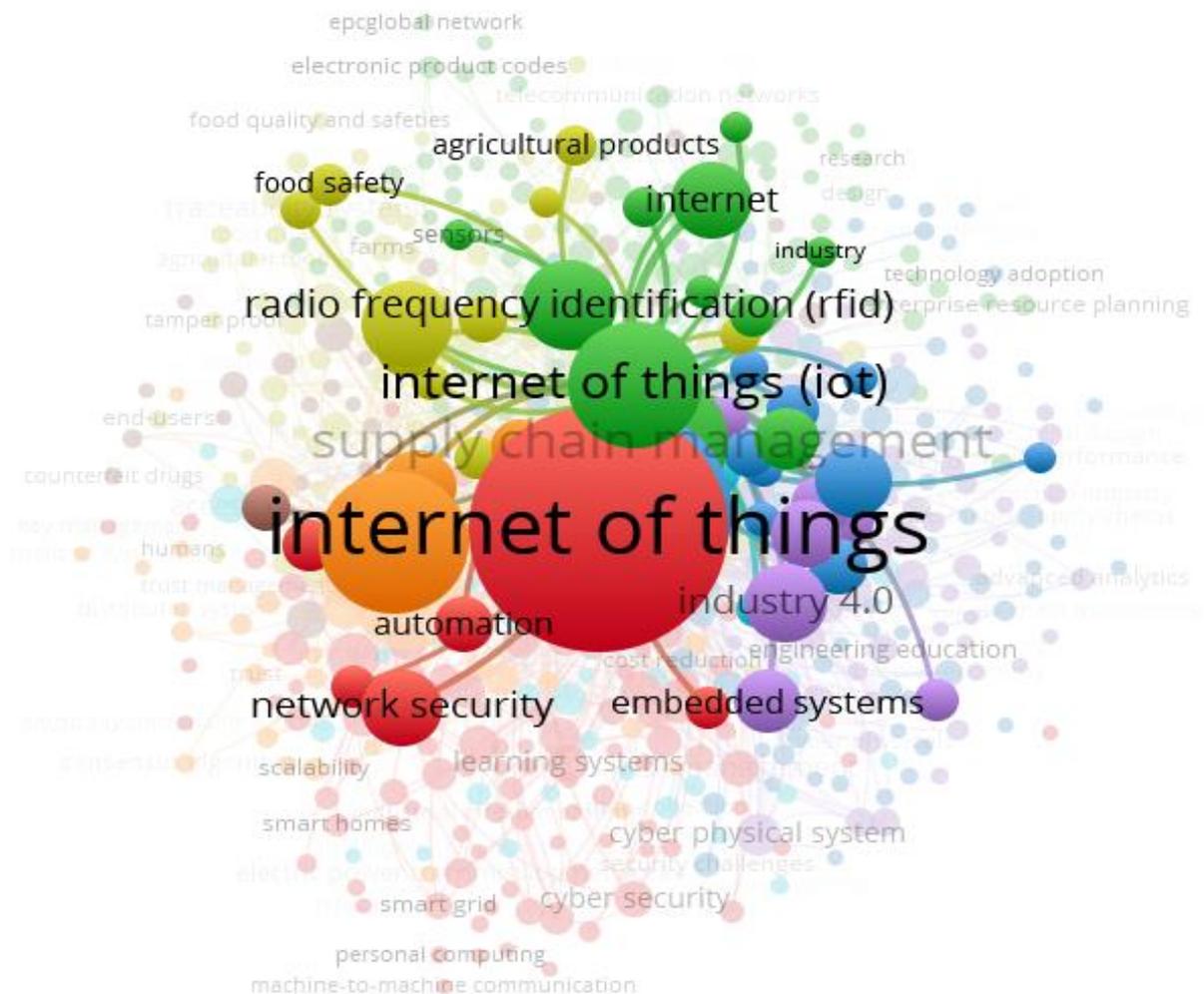


Fig. 01. Resultados del análisis biométrico.

2.6 Resultados de la búsqueda:

La búsqueda en las bases de datos nos dio los siguientes resultados: 2 estudios encontrados en Google Académico, 5 en Redalyc, 3 en Semantic Scholar, 3 en Scopus y 2 en Scielo. Estos estudios fueron considerados para la síntesis y análisis de la información recopilada. relevante. En resumen, se realizó un análisis sistemático siguiendo el enfoque metodológico PRISMA utilizando una exhaustiva técnica de búsqueda en diferentes bases de datos académicas. Se establecieron los criterios para determinar qué estudios se incluirían y cuáles se excluirían con el fin de seleccionar los estudios pertinentes. pertinentes, considerando el idioma, el periodo de publicación y las fuentes de datos. Los resultados obtenidos fueron utilizados para la síntesis y observación de la información en relación con el tema de investigación.

3. Resultados y discusión

Luego de realizar el análisis de todos los artículos de investigación encontrados, se extrajeron los puntos más importantes sobre el presente tema en estudio mostrado en la presente tabla:

Tabla 1. Enumeración de artículos seleccionados de la base de dato

N°	Autor(es)	Título	Año	País(es)	Principales Aportes
1	Javid Ghahremani, Hamed Nozari, & Alireza Aliahmadi	AIoT-based Sustainable Smart Supply Chain Framework	2022	Irán	La tecnología AIoT (Inteligencia Artificial de las cosas) puede ayudar a optimizar la cadena de suministro mediante el procesamiento de vastas cantidades de información generada mediante dispositivos IoT. Sin embargo, también se destaca la necesidad de soluciones adecuadas de seguridad informática, una fuerza laboral con habilidades requeridas y compartir información en un entorno integrado con socios comerciales.
2	Elluru Veera Pratap, Srinivas Pendyala	Supply chain management using IoT- A comprehensive review	2022	India	Se encontró que hay un gran potencial para llevar a cabo la ejecución de IoT en la administración de la cadena de suministro, así como también se identificaron brechas en la literatura con respecto al papel potencial de IoT en abordar los desafíos de gestión de la cadena de abastecimiento. Además, se destacó que se necesitan más dispositivos contextuales y redes de comunicación inalámbricas para mejorar la toma de decisiones autónomas y el procesamiento distribuido de datos.
3	Felix T. S. Chan, Dhirendra, Saurabh Pratap, Prajapati, H. Chelladurai, Lakshay	An Internet of Things Embedded Sustainable Supply Chain Management of B2B E-Commerce	2022	India	El uso de tecnologías IoT en la logística puede contribuir a reducir los gastos generales y aumentar la productividad. Las tecnologías IoT como etiquetas RFID y dispositivos de seguimiento GPS incrementa la claridad y monitoreo en tiempo real de los productos a medida que atraviesan cada una de las etapas implicadas en el procedimiento de abastecimiento.
4	Rodríguez, A., Cainaba, G. O. R., De Los Santos Solórzano Suárez, J., & Soto, J. P.	Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual	2019	Colombia	El texto menciona que las soluciones de IoT se consideran esenciales para modernizar el sector agroindustrial debido a los desafíos que enfrenta la agricultura. Se espera que la implementación de tecnologías IoT sea un factor determinante para incrementar la productividad de alimentos, con la posibilidad de incrementarla en un 70% a nivel global.

5	Maqueira Marin , Carvalho, De Oliveira- Dias, Moyano Fuentes,	Implications of using Industry 4.0 base technologies for lean and agile supply chains and performance	2023	España	Según la información proporcionada en el artículo, las tecnologías habilitadoras de I4.0 incluyen RFID, impresión en 3D, tecnología que mezcla lo real y lo virtual, interconexión de dispositivos a través de Internet (IoT) y análisis de big data (BDA). Además, un grupo específico de tecnologías I4.0 conocidas como tecnologías base de I4.0 incluyen Cloud Computing (CC), BDÁ y tecnologías IoT. Estas tecnologías se consideran críticas ya que apoyan procesos clave para desarrollar los principios de I4.0 y la integración y conectividad del sistema de fabricación
6	Kaur, Wamba, S., Talwar & Dhir,	Big Data in operations and supply chain management: a systematic literature review and future research agenda	2021	Noruega	En el documento menciona un concepto muy importante en el ámbito de las IoT, como es el "Big Data", ya que este es de vital importancia dentro de la cadena de abastecimiento. Algunas de las tecnologías mencionadas incluyen sistemas de almacenamiento de clústeres de datos, herramientas de procesamiento analítico de Big Data como Apache Hadoop y herramientas de Internet de las cosas (IoT).
7	Zhongqiang	A Supply Chain Information Pushing Method for Logistics Park Based on Internet of Things Technology	2021	China	La tecnología Internet de las Cosas se utiliza para desarrollar un modelo de procesamiento de información que comprende el contexto y las tareas específicas del parque logístico. Este modelo permite intercambiar datos y servicios de distribución, además de facilitar la inserción inteligente de información comercial. Todo esto contribuye a mejorar la puntualidad y adaptabilidad del sistema, asegurando que se satisfagan las necesidades de entornos logísticos complejos.
8	Jianhua, Muhan	Circulation traceability system of Chinese herbal medicine supply chain based on internet of things agricultural sensor	2021	China	Se ha creado un sistema de monitoreo que permite rastrear el movimiento de la cadena de suministro de la medicina herbal china utilizando sensores agrícolas de IoT. Este sistema mejora significativamente la recopilación proporcionar datos en cada fase del procedimiento y permite una supervisión exhaustiva desde el cultivo hasta la venta de los medicamentos herbarios chinos.
9	Qi Hao	Research on the Construction of Cold Chain Logistics Intelligent System Based on 5G Ubiquitous Internet of Things	2021	China	Crea un conjunto de sistemas avanzados para administrar eficientemente la logística de la cadena de refrigeración. Estos sistemas utilizan tecnología RFID, equipos de detección, sistema GPS, control jerárquico PID difuso y otras tecnologías relacionadas con la Internet de las cosas.
10	Hancoo Zaga, Pedro Nicoyani Mamani Ordoñez, Jenny Maribel	Diseño e implementación de termohigrómetro basado en tecnología de Internet de las cosas para el almacenamiento y transporte de alimentos	2020	Perú	El monitoreo, regulación de humedad y temperatura son importantes para garantizar la excelencia de los productos alimenticios. durante la fase de almacenamiento y transporte. Se lleva a cabo la ejecución de dispositivos IoT basados en la Industria 4.0 y la IoT ha brindado datos valiosos para la elección de opciones en estos campos.

11	Alshehri Mohammed	& Blockchain-assisted internet of things framework in smart livestock farming	2023	Arabia Saudita	Presenta un marco basado en la combinación de la herramienta tecnología blockchain y el concepto del IoT con el propósito de crear un sistema de agricultura inteligente para el ganado (IoT-BC-SLF), que permite un intercambio transparente y seguro entre los agricultores
12	Heydari, Nayeri, Sazvar,	Designing an IoT-enabled supply chain network considering the perspective of the Fifth Industrial Revolution: Application in the medical devices industry	2023	Irán	El análisis de sensibilidad mostró que un aumento en la interrupción tiene un efecto negativo en la ejecución de la logística de suministro. Los resultados obtenidos indicaron que los costos totales, daños ambientales, y la criticidad de los nodos se incrementaron al mejorar los tamaños de la demanda. Eventualmente, establecer el sistema IoT conduce a ahorros de costos significativos en base a los resultados obtenidos.
13	Uzair Khaleeq Uz Zaman, Muhammad Gufran, Noor Ul Huda	Smart Warehouse Management System: Architecture, Real-Time Implementation and Prototype Design	2022	Suiza	Destaca la arquitectura práctica de un sistema de administración de almacenes inteligente basado en IoT y la importancia de la arquitectura y la tecnología de transmisión de datos. Además, resalta el uso de análisis de sistemas de software para simplificar una red compleja de cadena de suministro y proporciona recomendaciones concretas para optimizar el rendimiento del sistema.
14	Jaouad El Gueri, Ibtisam Amdaouch, Alfredo Rosado-Muñoz, Mohamed Saban, Otman Aghzout, Juan Ruiz-Alzola, Mohamed Zied Chaari, Mostapha Bekkour, Badiaa Ait Ahmed	A Smart Agricultural System Based on PLC and a Cloud Computing Web Application Using LoRa and LoRaWan	2023	Suiza	La implementación de un sistema agrícola inteligente mediante el uso de tecnologías avanzadas como PLC, LoRa y LoRaWAN tiene como objetivo mejorar la eficiencia y productividad de la agricultura. Este sistema permite una gestión en tiempo real y automatización de alto nivel, lo que conlleva beneficios como la mejora de la seguridad alimentaria, la reducción del desperdicio e incremento en la producción agrícola y su relación con los recursos naturales. El artículo proporciona información valiosa sobre cómo implementar este tipo de sistema en diversos entornos agrícolas, utilizando tecnologías de vanguardia.
15	Shivangi Thakker, Dhruvan Gohil	Blockchain-integrated technologies for solving supply chain challenges	2021	Reino Unido	La integración de blockchain con IoT y AI mejora la efectividad y notoriedad de la cadena de abastecimiento. Permite mayor transparencia, trazabilidad y seguridad en las transacciones y datos. La combinación de blockchain con IoT permite sincronización y automatización, mientras que la inteligencia artificial analiza datos y mejora la toma de decisiones. En general, esta integración tiene un impacto positivo en la efectividad y la ganancia económica de la cadena de abastecimiento.

3.1 Tecnologías de internet de las cosas

El Internet de las cosas es un sistema que integra redes sensoriales inalámbricas, big data y computación en la nube [19]. Las tecnologías que se generan a partir del Internet de las cosas son variadas, y se pueden utilizar en varias etapas de la cadena de suministro según [10]. A continuación, se mostrarán tecnologías IoT:

Tabla 2
Enumeración de tecnologías IoT

Nombre	Concepto
Sistemas de sensores sin cables (WSN)	Las redes de sensores sin cables son tecnologías importantes para las IoT, ya que permiten una amplia capacidad de sensores con bajo consumo de energía. Sin embargo, en el ámbito industrial, su adopción es lenta debido a limitaciones que impiden reemplazar las tecnologías tradicionales [33].
RFID	El uso común de la tecnología RFID implica dos dispositivos principales: el lector, encargado de la comunicación, y la etiqueta, que contiene un código electrónico asociado. El lector emite señales de RF y las etiquetas reciben identificaciones a través de sensores integrados. Las aplicaciones de RFID abarcan áreas como la seguridad, identificación de activos y la interacción del usuario con sistemas IoT centralizados [19].
Middleware	El middleware procesa el flujo de información que capta el lector del sensor. Es como un vínculo entre el lector y la aplicación empresarial [18]. El middleware desempeña un papel crucial al controlar diversas funciones, como el manejo y almacenamiento de datos, las interacciones con dispositivos, el análisis, la seguridad y el procesamiento [17].

3.2 Cadena de abastecimiento

La cadena de suministro abarca diversos aspectos cruciales para garantizar el flujo eficiente de productos y servicios. Comprende la logística física, incluyendo el almacenamiento y transporte de mercancías, así como la ubicación estratégica de instalaciones y almacenes [27].

Tabla 3

Aspecto de la cadena de abastecimiento

Nombre	Concepto
Fases de la cadena de suministro	Aprovisionamiento Se enfoca en las tareas indispensables para adquirir los elementos esenciales y los derivados necesarios para la producción de los artículos principales que se comercializarán. A lo largo de esta fase, es crucial realizar una planificación adecuada y coordinar la disponibilidad, cantidad y tiempo necesario de los materiales.
	Fabricación Engloba las actividades vinculadas a la generación y fabricación del artículo.
	Almacenamiento Es el núcleo de la cadena de abastecimiento. Este proceso implica la administración del tiempo de los artículos, manteniéndolos bajo supervisión de calidad en un lugar particular, de manera que su movimiento de entrada y salida resulte rentable para la compañía.
	Distribución y envío Representa el último tramo de la cadena de abastecimiento. Engloba desde la salida del depósito o centro de distribución hasta la entrega al consumidor definitivo. La meta principal es garantizar que el artículo arribe en perfectas condiciones y dentro de los tiempos acordados.
Características de la cadena de abastecimiento	El objetivo principal de la cadena de suministro es garantizar la entrega de suministros en la medida, excelencia y oportunidad apropiadas, al menor costo posible. Requiere una coordinación equilibrada de actividades complejas y eficiencia en todas las fases. La coordinación de proveedores, transporte, fabricantes, clientes y tecnología es fundamental para asegurar la entrega exitosa del producto al cliente final.

3.3 Tipos de tecnologías de internet de las cosas empleadas para la cadena de abastecimiento

- **Plataforma de gestión IoT mediante técnicas de industria 4.0 para agricultura de precisión**

Se menciona el desarrollo de una celda inteligente para mejorar la agricultura de precisión en México, tal y como se puede observar en la ilustración número 2. La celda utiliza tecnología IoT y sensores para recopilar información actualizada al instante acerca del entorno ambiental y de los cultivos. Estos datos se envían a un Dashboard que facilita el análisis y monitoreo [13]. La implementación de este sistema permite a los agricultores tomar decisiones anticipadas y optimizar la producción agrícola.

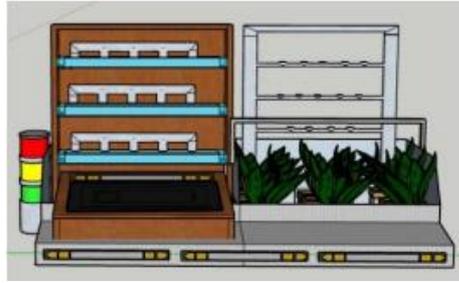


Fig. 02. Sistema de monitoreo en tiempo instantáneo para recopilar datos de cultivos de maíz.

Fuente: Gómez, J.J., Gómez, A., & Cahuich, C. (2020).

▪ **Un Sistema Agrícola Inteligente Basado en PLC y en la Nube Aplicación web informática con LoRa y LoRaWan**

Se presenta un sistema de cultivo inteligente que utiliza tecnologías de IoT y LoRa para mejorar la productividad y eficiencia en la agricultura, como se observa en la figura 3. Se emplea un sensor inalámbrico de bajo costo y amplio alcance, integrado con controladores lógicos programables existentes, mostrado en la figura 4. Además, se desarrolla una aplicación de monitoreo basada en web y un bot de Telegram para la visualización y control remoto de los dispositivos conectados. El sistema ha sido probado y evaluado, demostrando un monitoreo preciso, gestión eficiente y control remoto de dispositivos y procesos en la granja, lo cual puede mejorar la eficiencia y la seguridad alimentaria. [1]

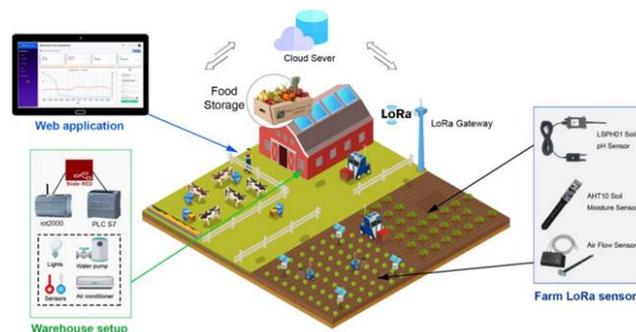


Fig. 03. Aplicación del sistema propuesto que integra controladores PLC y nodos LoRa

Fuente: Ahmed, B. A., Aghzout, O., Gueri, J. E., Rosado-Muñoz, A., Amdaouch, I., Saban, M., Chaari, Bekkour, M. & Ruiz-Alzola, J. (2023)

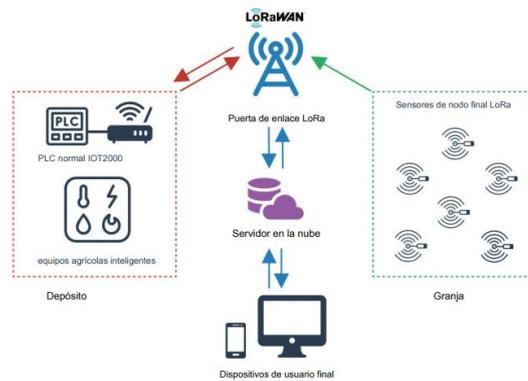


Fig. 04. Un panorama general de la configuración del sistema Smart Farm.

Fuente: Ahmed, B. A., Aghzout, O., Gueri, J. E., Rosado-Muñoz, A., Amdaouch, I., Saban, M., Chaari, Bekkour, M. & Ruiz-Alzola, J. (2023)

3.4 Lenguajes de programación para la realización de las IoT

El desarrollo de tecnologías de IoT requiere hardware y software, con lenguajes de programación clave mostrados en la Figura 05. Estos lenguajes permiten a los desarrolladores controlar dispositivos, procesar datos, realizar análisis e interactuar con los usuarios [22].



Fig. 05. Lenguajes de programación IoT

- **Lenguaje C**

Lenguaje de programación utilizado en sistemas embebidos y IoT, conocido por su eficiencia y bajo nivel. Permite acceder directamente a los recursos del sistema. Se utiliza para desarrollar el firmware y software de dispositivos IoT, comunicación con periféricos y sensores, y control preciso de dispositivos y actuadores. Según Purdum, el lenguaje C es

uno de los más populares y versátiles para la programación de sistemas embebidos, ya que ofrece un alto rendimiento y una gran flexibilidad [26].

- **Python**

Un lenguaje de programación que se aprende con facilidad y tiene un nivel de abstracción alto y versátil, ampliamente utilizado en IoT. Uno de los mayores beneficios de Python es su soporte para bibliotecas externas versátiles, incluidas las bibliotecas de IoT [4]. Python es un lenguaje ideal para el desarrollo de soluciones IoT debido a su simplicidad, flexibilidad y compatibilidad con múltiples plataformas y protocolos.

- **Java**

La convergencia entre el Internet de las cosas y el crecimiento de un ecosistema M2M se está llevando a cabo junto con la informática en la nube y el examen de extensas cantidades de información. Esto demanda una plataforma unificada que funcione desde los dispositivos hasta los servidores de información utilizando Java [3].

- **C++**

Lenguaje de programación de propósito general utilizado en aplicaciones de IoT debido a su combinación de características de bajo nivel y alto nivel. Según [23], es extremadamente relevante en el proceso de generación de un sistema integrado para la supervisión de la calidad de productos lácteos. El uso de este lenguaje de programación, junto con la plataforma ARDUINO, permitió desarrollar un prototipo compuesto por sensores de pH y temperatura, así como una interfaz gráfica para visualizar y almacenar los datos en tiempo real.

- **Go**

Lenguaje de programación desarrollado por Google, enfocado en la eficiencia y la concurrencia, ideal para aplicaciones de IoT que requieren rendimiento rápido y gestión eficiente de recursos. Según [34], Go es un lenguaje de programación fundamental en el desarrollo de un sistema que aborda los problemas de privacidad de identidad en el IoT. Se utiliza para escribir el código de cadena que implementa un esquema basado en blockchain y firmas de anillo. Go también se emplea en la construcción de un sistema prototipo y se verifica su corrección y eficiencia a través de análisis teóricos y experimentos.

- **JavaScript**

Lenguaje de codificación ejecutado, de nivel avanzado y multiplataforma utilizado principalmente en aplicaciones web y desarrollo del lado del cliente. Además, se emplea en IoT para interfaces de usuario interactivas en dispositivos y aplicaciones web. Según [31], JavaScript es crucial en este contexto, ya que se utiliza para la representación y el examen de datos en el entorno web. Asimismo, se emplea en la incorporación de la tecnología fundamentada en blockchain para fortalecer la fiabilidad y la protección de las redes de sensores inalámbricos.

4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos establecieron una visión general de las tecnologías de Internet de las cosas (IoT) y su aplicación en la cadena de suministro. Se mencionan varias tecnologías utilizadas en IoT, como sistemas de sensores sin cables (WSN), RFID y middleware, que son fundamentales para la recolección y procesamiento de datos en este contexto [10]. Además, se destaca la importancia de la cadena de abastecimiento para garantizar el flujo eficiente de productos y servicios.

En cuanto a las tecnologías específicas utilizadas en la cadena de abastecimiento, se presentan dos ejemplos interesantes. El primero es un sistema de gestión IoT basado en la industria 4.0 para la agricultura de precisión en México. Este sistema utiliza sensores y tecnología IoT para recopilar información en tiempo real sobre el entorno ambiental y los cultivos, lo que permite a los agricultores tomar decisiones anticipadas y optimizar la producción agrícola [13]. Este ejemplo muestra cómo las tecnologías IoT pueden tener un impacto significativo en la agricultura y mejorar la eficiencia del proceso de producción.

El segundo ejemplo es un sistema de cultivo inteligente que utiliza tecnologías de IoT y LoRa para mejorar la productividad y eficiencia en la agricultura. Este sistema emplea sensores inalámbricos de bajo costo y alcance amplio, junto con controladores lógicos programables, y se complementa con una aplicación web y un bot de Telegram para el monitoreo y control remoto de dispositivos en la granja [1]. Este caso ilustra cómo la combinación de diferentes tecnologías IoT puede mejorar la eficiencia y la seguridad alimentaria en el sector agrícola.

En relación con los lenguajes de programación utilizados en el desarrollo de tecnologías IoT, el texto presenta una lista de opciones clave. Se mencionan lenguajes como C, Python, Java, C++, Go y JavaScript [22], cada uno con sus ventajas y aplicaciones específicas. Esta

diversidad de lenguajes muestra que los desarrolladores pueden elegir la mejor herramienta para adaptarse a sus necesidades y requisitos particulares en proyectos de IoT.

Sin embargo, la revisión podría beneficiarse de una mayor profundidad en la discusión de los resultados. Sería útil proporcionar más ejemplos prácticos y estudios de casos que demuestran cómo estas tecnologías de IoT han sido implementadas en la cadena de abastecimiento y cómo han impactado positivamente en la eficiencia, reducción de costos o mejora de la experiencia del cliente.

5. Conclusiones

El Internet de las Cosas (IoT) es un sistema que integra redes sensoriales inalámbricas, big data y computación en la nube. En la cadena de suministro, se pueden utilizar tecnologías IoT como sistemas de sensores sin cables (WSN), RFID y middleware. Estas tecnologías proporcionan una visión actualizada sobre la ubicación, estado y condiciones de los activos y permiten una toma de decisiones más informada.

La cadena de suministro abarca etapas como aprovisionamiento, fabricación, almacenamiento y distribución, y requiere una coordinación eficiente de proveedores, fabricantes, transporte y clientes. Además, se han desarrollado aplicaciones de IoT específicas para mejorar la agricultura de precisión, utilizando sensores y tecnologías como LoRa y LoRaWAN, que permiten el monitoreo, control y gestión eficiente de los cultivos.

En pocas palabras, los lenguajes de programación son fundamentales en la creación de tecnologías de IoT, posibilitando a los programadores desarrollar soluciones inteligentes y conectadas. Elegir el lenguaje correcto depende de los requisitos particulares del proyecto y las características de los dispositivos, con el fin de obtener un rendimiento óptimo, eficiencia y funcionalidad dentro del ámbito de las IoT.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ahmed, B. A., Aghzout, O., Gueri, J. E., Rosado-Muñoz, A., Amdaouch, I., Saban, M., Chaari, Bekkour, M. & Ruiz-Alzola, J. (2023). A Smart Agricultural System Based on PLC and a Cloud Computing Web Application Using LoRa and LoRaWan. *Sensors*, 23(2725), 2725. <https://doi.org/10.3390/s23052725>
- [2] Alshehri, D. (2023). Blockchain-assisted internet of things framework in smart livestock farming. *Internet of Things*, 22, Article 100739. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100739>.
- [3] Beneke, T. (2014). Una pareja perfecta: Java y el Internet de las Cosas. Oracle. Recuperado de <https://www.oracle.com/technical-resources/articles/java/java-maker-iot.html>
- [4] Boral, S. (2019). ¿Es Python el lenguaje para IoT? IoT Tech Trends. Recuperado de <https://www.iottechtrends.com/is-python-the-language-for-iot>
- [5] Britannica. (s.f.). Internet of Things (IoT). Recuperado de <https://www.britannica.com/science/Internet-of-Things>
- [6] Cainaba, G. O. R., De Los Santos Solórzano Suárez, Soto, J. P., J., & Rodríguez, A. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, 22, 86-105. <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>
- [7] Chan FTS, Lakshay L, Chelladurai H, Pratap S. & Prajapati D, (2022) An Internet of Things Embedded Sustainable Supply Chain Management of B2B E-Commerce. *Sustainability*, 14(9), 5066. <https://doi.org/10.3390/su14095066>.
- [8] Delgado Fernández, T., Stuart Cárdenas, M. L., & Walwyn Fuentes, M. (2022). Requerimientos para el diseño de una torre de control en la cadena de suministros de una empresa de paquetería internacional. *Revista Cubana De Transformación Digital*, 3(3), e184. Recuperado de <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/184>
- [9] Dhir, A., Kaur, P., Talwar, S., & Wamba, S. F. (2021). Big Data in operations and supply chain management: a systematic literature review and future research agenda. *International Journal of Production Research*, 59(11), 3509-3534. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1868599>
- [10] Ekon (s.f.). Aplicaciones y ejemplos IoT en el sector Logístico. Recuperado de: <https://www.ekon.es/blog/ejemplos-iot-sector-logistico/>
- [11] Foro Mundial Económico. (2021). ¿Qué es el Internet de las Cosas? Recuperado de <https://www.weforum.org/agenda/2021/03/what-is-the-internet-of-things/>

- [12] Gallardo, J., Infante, J. & Infante, A., (2021). Factores que influyen en la adopción del Internet de las Cosas en el sector hotelero. RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao, 370-383. Recuperado de <https://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/19584>
- [13] Gómez, J.J., Gómez, A., & Cahuich, C. (2020). Plataforma de gestión IoT mediante técnicas de industria 4.0 para agricultura de precisión. Research in Computing Science, 149, 303-315. <https://www.semanticscholar.org/paper/Plataforma-de-gesti%C3%B3n-IoT-mediante-t%C3%A9cnicas-de-4.0-G%C3%B3mez-Cahuich/cc0040d70cd148b7e0ba6303bcf294caf43885e9>
- [14] Han, Q. (2021). Research on the Construction of Cold Chain Logistics Intelligent System Based on 5G Ubiquitous Internet of Things. Journal of Sensors, 2021, Article ID 6558394, 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/6558394>
- [15] Heydari, J., Sazvar, Z., & Nayeri, S. (2023). Designing an IoT-enabled supply chain network considering the perspective of the Fifth Industrial Revolution: Application in the medical devices industry. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 122, art. no. 106113. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106113>
- [16] Huda, N., Khan, M. G. & Uz Zaman, U., (2022). Smart Warehouse Management System: Architecture, Real-Time Implementation and Prototype Design. Machines, 10(150), 150. <https://doi.org/10.3390/machines10020150>.
- [17] Jabbari, F., Abdollahei, F., & Asemani, M. (2019). Understanding IoT Platforms : Towards a comprehensive definition and main characteristic description. 2019 5th International Conference on Web Research (ICWR), 172–177. <https://doi.org/10.1109/ICWR.2019.8765259>
- [18] Jiang, W. (2019). An intelligent supply chain information collaboration model based on internet of things and big data. IEEE Acces, open solutions, 7, 58324–58335. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2913192>
- [19] Khan, Y., Ahmad, A., Khan, N., Alam, M., Ahmad, S., & Su'ud, M. (2022). Application of Internet of Things (IoT) in sustainable supply chain management. Sustainability, 15(1), 694. <https://doi.org/10.3390/su15010694>
- [20] Mamani, P., & Hanco, J. (2020). Diseño e implementación de termohigrómetro basado en tecnología de Internet de las cosas para el almacenamiento y transporte de alimentos. Revista Científica I+D Aswan Science, 1(1). <https://doi.org/10.51392/rcidas.v1i1.4>
- [21] Maqueira, J., De Oliveira, D., Carvalho, H., & Moyano, J. (2023). Implications of using industry 4.0 base technologies for lean and agile supply chains and performance.

- International Journal of Production Economics, 262, 108916.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108916>
- [22] McKinsey. (2022). ¿Qué es el Internet de las Cosas? Recuperado de <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-the-internet-of-things>
- [23] Moscol Calderón, C. A. (2022). Desarrollo de un sistema embarcado IoT medidor de pH y temperatura en productos lácteos. Universidad Nacional de Frontera. Obtenido de: <http://repositorio.unf.edu.pe/bitstream/handle/UNF/214/TESIS%20-%20Moscol%20Calder%c3%b3n%2c%20Cristhiam%20Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [24] Nozari, H., Aliahmadi, A., & Ghahremani, J. (2022). AIoT-based Sustainable Smart Supply Chain Framework. International Journal of Innovation in Management, Economics and Social Sciences, 2(2), 28–38. <https://doi.org/10.52547/ijimes.2.2.28>
- [25] Pendyala, S., & Veera, E. (2022). Supply chain management using IoT- A comprehensive review. Journal of Positive School Psychology, 6(6), 412-418. <https://journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/6921>
- [26] Purdum, J. (2019). Beginning C for Arduino: Learn C programming for the Arduino and compatible microcontrollers (2a ed.). Apress.
- [27] Reyes, D. (2021). Cadena de abastecimiento. Universidad San Marcos. Obtenido de: <http://repositorio.usam.ac.cr/xmlui/handle/11506/1737>
- [28] Roy, A., Misra, S., & Woungang, I. (2018). Python for Internet of Things: A practical guide to building smart devices and applications with Python. Packt Publishing.
- [29] Sangroni Laguardia, N., Cruz, C., Pérez, J. A., Sánchez Suárez, Y., & Medina, Y. E. (2021). Retos actuales de la logística y la cadena de suministro. Ingeniería Industrial, 42(1), 169-184. Epub 08 de mayo de 2021. Recuperado en 09 de julio de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362021000100169&lng=es&tlng=pt.
- [30] Shi, J., & He, M. (2021). Circulation traceability system of Chinese herbal medicine supply chain based on internet of things agricultural sensor. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 30, 100518. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100518>
- [31] Sung, T., & Hsiao, J. (2021). Employing Blockchain Technology to Strengthen Security of Wireless Sensor Networks. IEEE Access, 9, 72326-72341. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3079708>

- [32] Thakker, S. V., & Gohil, D. (2021). Blockchain-integrated technologies for solving supply chain challenges. *Modern Supply Chain Research and Applications*, 3(2), 78-97. <https://doi.org/10.1108/MS CRA-10-2020-0028>.
- [33] Vera Pérez, J. (2022). Diseño y evaluación de mecanismos de optimización en redes de sensores inalámbricas industriales. Universitat Politecnica de Valencia. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/10251/179700>
- [34] Yanhui, L., Jianbiao, Z., Pathan, M. S., Yijian, Y., Puzhe, Z., Maroc, S., & Nag, A. (2022). Research on identity authentication system of Internet of Things based on blockchain technology. *Journal of King Saud University: Computer and Information Sciences*, 34(10), 10365-10377. <https://doaj.org/article/206b339d73794f1ca9a5c8b53473964a>
- [35] Zhang, Z. (2021). A Supply Chain Information Pushing Method for Logistics Park Based on Internet of Things Technology. *Mobile Information Systems*, 2021, Article ID 5544607, 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/5544607>