

# Aplicación del Internet de las cosas (IoT) en la Gestión de almacenes - Una revisión de nuevas propuestas.

Internet of Things (IoT) applications in Warehouse management - A review of new proposals.

Morales, David  
david.morales01@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Sistemas (1)

## **Resumen**

El Internet de las cosas es un concepto clave de la cuarta revolución industrial y se considera uno de los campos más prometedores para controlar y mejorar el rendimiento de la cadena de suministro. Este manuscrito proporciona una exploración de las nuevas propuestas de aplicación del Internet de las cosas en la gestión de almacenes en los últimos cinco años. Para llevar a cabo lo anterior, se realizó una revisión de la literatura académica publicada entre los años 2015 y 2019 en base de datos científicas, con la tarea de producir una completa descripción del estado acumulativo de las investigaciones sobre este tema. Así mismo, las operaciones de la gestión del almacenamiento se indagaron desde cinco funciones principales: recepción, almacenamiento, picking, packing, y despacho. Se resaltan aportes asociados al uso de la identificación por radiofrecuencia (RFID) en la operación de recepción, y al uso e integración del Sistema de Gestión de Almacenes (WMS) para el soporte de actividades de almacenamiento y optimización de condiciones de seguridad y perfilación de productos. También, se destacan las propuestas relacionadas con Vehículos Guiados Automáticos (AGV) y sistemas de gestión de bases de datos para minimizar el tiempo de búsqueda y rastreo en el proceso de picking, el diseño de sistemas de empaque automatizado para las operaciones de packing, y los sistemas de seguimiento o trazabilidad para la entrega de mercancías en las operaciones de despacho. Finalmente, esta síntesis revela que este tipo de propuestas siguen siendo un tema de interés en las investigaciones concernientes a la gestión de almacenamiento, ofreciendo un soporte bibliográfico confiable que puede ser usado como punto de partida en la consulta y formulación de nuevas iniciativas para futuros investigadores o profesionales en este campo.

*Palabras Clave:* Gestión de almacenes; Internet de las cosas; Gestión de la cadena de suministro; Logística; Industria 4.0.

## **Abstract**

The Internet of Things (IoT) is a key concept of the fourth industrial revolution and is considered one of the most promising areas for controlling and improving supply chain performance. This manuscript is an exploration of new proposals for Internet of Things applications in warehouse management over the past five years. A review of the academic literature published between 2015 and 2019 was conducted, with the goal of providing a full description of the cumulative state of research on this topic. Warehousing operations were investigated in the context of five main functions: reception, storage, picking, packing, and shipping. Contributions associated with the use of radio frequency identification (RFID) in reception operations and the use and integration of the Warehouse Management System (WMS) for the support of storage activities and optimization of safety conditions and product profiling are noteworthy. Also, proposals related to Automated Guided Vehicle (AVG) and database management systems to minimize search, travel time, and to avoid picking errors, design of automated packaging systems for packing operations, and a tracking system for the delivery of goods in shipping operations, are highlighted as well. Finally, this synthesis reveals that these types of proposals continue to be a topic of interest in research concerning supply chain management, offering reliable bibliographic support that can be used as a starting point in the consultation and formulation of new initiatives for future researchers or professionals in this field.

*Keywords:* Warehouse management; Internet of Things; Supply chain management; Logistics; Industry 4.0.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La Industria 4.0 puede describirse como la creciente digitalización y automatización del entorno industrial, así como la creación de una cadena de valor digital que permite la comunicación entre productos, el entorno y los socios comerciales. Igualmente, este tipo de industria está cambiando los procesos existentes con la aparición de nuevas tecnologías en el mercado, como el Internet de las cosas (IoT), que permite la conexión, el monitoreo, y la optimización de diferentes objetos entre sí (Lee et al., 2018). Si bien el término IoT ahora se usa ampliamente, Wortmann & Flüchter (2015) sostienen que no existe una definición o comprensión común de lo que abarca el Internet de las cosas. Entonces, aunque no existe un concepto estándar, se ha definido y explicado varias veces en la literatura. En general, el Internet de las cosas se define como la interconexión de sistemas y dispositivos a través de internet, lo que permite la creación de datos que

pueden proporcionar información analítica e integrar nuevas operaciones (Nord, Koohang, & Paliszkievicz, 2019). Así mismo, el Internet de las cosas es una nueva revolución de la industria de la información mundial después de la computadora, el Internet, y la red de comunicaciones móviles. Además, ha despertado gran preocupación en todo el mundo, involucrando todos los aspectos de la vida humana, y continuará teniendo un gran impacto en el desarrollo económico y social global (Cui et al., 2018).

Por otro lado, la facilidad donde se almacenan bienes o mercancías se llama almacén, y el objetivo principal de su gestión es controlar el flujo de productos o artículos de una manera precisa para lograr su disponibilidad cuando sea necesario (Tejesh & Neeraja, 2018). De este modo, las operaciones de almacenamiento deben cambiar en consecuencia, debido a la compleja y alta variedad de pedidos de los clientes, así como a la demanda de información en tiempo real. Por tanto, el funcionamiento tradicional del almacén ya no resulta adecuado en la era de la Industria 4.0 (Lee et al., 2018). En relación con esto, el Internet de las cosas ha sido un enorme campo de aplicación para la gestión de almacenes, resultando en un enfoque sinérgico que permite mejorar la productividad, visibilidad, trazabilidad y competitividad de la gestión de la cadena de suministro en un entorno dinámico y complejo (Ready, Gunasekaran, & Spalanzani, 2015). Así, desde la recepción hasta la entrega, el Internet de las cosas está transformando los procesos logísticos al proporcionar una visibilidad más precisa y en tiempo real del flujo de materiales y productos. Las empresas invierten en IoT para rediseñar los flujos de trabajo, facilitar el seguimiento de los materiales, y optimizar los costos de distribución. Sin embargo, cabe mencionar que todavía hay una serie de desafíos que dan lugar a nuevas propuestas que tienen implicaciones importantes (I. Lee & Lee, 2015).

La evolución de la investigación sobre las aplicaciones del Internet de las cosas se ha dirigido principalmente dentro de estudios de revisión que analizan el impacto de la Industria 4.0 en la cadena de suministro en su conjunto. No obstante, como cualquier campo de estudio, este puede comprender nuevas propuestas que establecen pasos necesarios en el progreso del conocimiento científico, tecnológico e innovador. Consecuentemente, el valor de un avance estará determinado por los hallazgos e impacto que proporciona, y los futuros investigadores requieren conocer que se ha investigado previamente o que aspectos aún no han sido indagados, con el fin de aportar un valor agregado. En adición, otro de los problemas tiene que ver con las limitaciones de tiempo que hacen que sea difícil para la mayoría de los científicos mantenerse al día con nuevos estudios y publicaciones, lo que resulta en la necesidad de una revisión consolidada de nuevos aportes.

De manera que, existen diferentes estudios de revisión de literatura relacionados con la aplicación del Internet de las cosas en las operaciones logísticas. De manera que, existen diferentes estudios de revisión de literatura relacionados con la aplicación del Internet de las cosas en las operaciones logísticas. Un ejemplo de ello es el trabajo de I. Lee & Lee (2015), quienes profundizan sobre cinco tecnologías basadas en IoT (identificación por radiofrecuencia, redes de sensores inalámbricos - WSN, middleware, computación en la nube, y softwares de aplicación), y además, analizan tres categorías IoT para aplicaciones empresariales (monitoreo y control, Big data y análisis de negocios, e intercambio de información y colaboración). Sus conclusiones señalan que debido al reciente desarrollo en IoT, todavía hay una escasez de estudios sobre los aspectos sociales, de comportamiento, económicos y de gestión, lo que hace que sea muy difícil para las empresas tomar decisiones informadas al respecto. Por su parte, en la investigación de Barreto, Amaral, & Pereira (2017) se presenta una descripción general de la Industria 4.0, sus características principales y sus tecnologías habilitadoras, señalando que la aparición de la industria del Internet de las Cosas (IoT) ha promovido nuevos desafíos en el dominio de la logística. Como resultado, señalan que la transformación digital y el uso de sistemas inteligentes y cooperativos harán que la cadena de suministro sea más inteligente, transparente y eficiente, y que habrá un enfoque investigativo en nuevos modelos logísticos que estarán más cerca de las necesidades individuales de los clientes.

Saarikko, Westergren, & Blomquist (2017) hacen una revisión sobre dos aspectos esenciales del IoT: los avances técnicos en la conectividad remota, y las consecuencias comerciales potenciales de la digitalización de productos. De donde infieren que, el IoT no es un concepto o paradigma homogéneo, sino un conjunto de posibilidades a partir de las cuales cada actor puede examinar y ensamblar un enfoque adecuado para sus intereses estratégicos y requisitos comerciales. Tjahjono, Esplugues, Ares, & Pelaez (2017) analizan el impacto de la Industria 4.0 en la cadena de suministro, y tienen

como objetivo revisar las tecnologías implementadas dentro de las operaciones logísticas. Sus resultados mostraron que las áreas más afectadas por la introducción de la Industria 4.0 son el cumplimiento de pedidos y la logística de transporte. Por último, en el manuscrito de Witkowski (2017), se hace una revisión de aquellas soluciones "inteligentes" que podrían reconocerse como soluciones innovadoras en la gestión logística, concluyendo que soluciones recientes, como el Internet de las cosas o el Big Data, crean oportunidades para satisfacer las necesidades de los clientes y también contribuyen al desarrollo y la gestión de las cadenas de suministro.

Sin embargo, además de que dichas investigaciones están desactualizadas al no incluir publicaciones entre los años 2017 - 2019, se limitan a hacer una revisión con un enfoque a la cadena de suministro en general, dejando un vacío referente a la recopilación de propuestas específicamente orientadas a las funciones de la gestión de almacenes. Por lo tanto, el presente manuscrito tiene como objetivo principal presentar las últimas propuestas de aplicación del Internet de las cosas en la gestión de almacenes, que han surgido desde la comunidad científica. Para llevar a cabo lo anterior, se aplicaron principios básicos de recopilación, análisis e interpretación, explorando diferentes propuestas en cada una de las funciones que hacen parte de la gestión de almacenes (recepción, almacenamiento, picking, packing, y despacho), con la tarea de producir un soporte bibliográfico actualizado sobre investigaciones en este tema. Los resultados de esta síntesis llevada a cabo proporcionan información sobre varios tipos de hallazgos relacionados con los resultados acumulativos de publicaciones académicas que fueron obtenidas de bases de datos (Scopus, ScienceDirect, ProQuest, Springer, etc.) durante el periodo comprendido entre 2015-2019.

## 2. EL INTERNET DE LAS COSAS Y LA GESTIÓN DE ALMACENES

Mientras que el Internet de las cosas sigue buscando su propio camino, sus efectos ya han comenzado a avanzar increíblemente como una solución para crear escenarios conectados (Ray, 2018). Asimismo, se estima que el Internet de las cosas (IoT) desempeña un papel importante al ofrecer beneficios tangibles y comerciales a las cadenas de suministro, lo que hace que los procesos operativos sean más eficientes y productivos (Kamble, Gunasekaran, Parekh, & Joshi, 2019). Entonces, se puede definir como un campo integral en la sociedad del conocimiento, que permite ofrecer servicios avanzados mediante la interconexión de elementos (físicos y virtuales) basados en tecnologías de información y comunicación existentes e interoperables (Ray, 2018). Lo anterior permite inferir que el concepto incluye dos aspectos principales: la extensión de una red basada en internet, y el intercambio de información y comunicación entre dispositivos (Cui et al., 2018). Así, es un campo que involucra sistemas con una capa de percepción, una capa de red y una capa de aplicación, las cuales se describen en la Tabla 1.

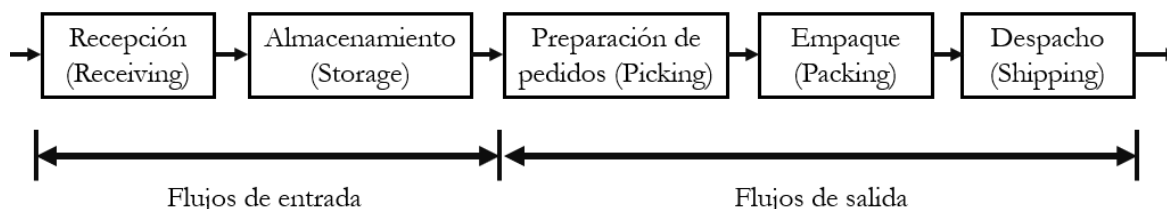
**Tabla 1. Capas del IoT**

Capa	Descripción
Percepción	Realiza principalmente la función de reconocimiento, incluida la identificación de objetos y la recopilación de información relevante. Las tecnologías clave incluyen identificación por radiofrecuencia (RFID), sensores, comunicación inalámbrica de corta distancia, etc. La adquisición y percepción de datos se utiliza principalmente para recopilar eventos e información en determinados entornos.
Red	Cumple la extensa función de interconexión y comunicación, integrando tecnologías asociadas a redes de sensores, comunicación móvil, Internet, entre muchas otras, transfiriendo y procesando la información detectada de forma confiable y segura.
Aplicación	Se combina perfectamente con la demanda de la industria para realizar y facilitar un amplio intercambio de información e intercomunicación. Las aplicaciones típicas incluyen transporte inteligente, vigilancia industrial, hogares inteligentes, pruebas ambientales, seguridad pública, gestión urbana, logística inteligente, etc.

**Fuente:** Adaptado de Cui et al. (2018).

Por otro lado, para definir correctamente la gestión de almacenes, resulta imperativo mencionar que según el Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), un almacén es un lugar o instalación para depositar o guardar determinada cantidad de artículos, productos o mercancías. Las actividades principales del almacén se dividen en flujos de entrada y salida, e incluyen la recepción del producto, el almacenamiento, la preparación de pedidos, el empaque, y el despacho (CSCMP, 2019). Lo anterior se ilustra en la Figura 1. La recepción corresponde a la función del recibo físico del material y la acción de inspección del envío entrante, con el fin de buscar daños y validar las condiciones de la orden. El almacenamiento tiene que ver con la ubicación y retención segura de productos para uso o envío futuro. En adición, la preparación de pedidos cubre la función de recopilar los artículos asociados con una orden desde sus ubicaciones de almacenamiento, para que estén disponibles en los procesos de producción o directamente para los clientes. A su vez, el empaque comprende la conservación y el marcado como actividades principales. El despacho involucra la acción del envío de mercancías (CSCMP, 2019; Davarzani & Norrman, 2015).

**Figura 1. Funciones en la Gestión de almacenes**



**Fuente:** Adaptado de (CSCMP, 2019; Davarzani & Norrman, 2015).

La gestión de almacenes se puede definir como la administración del conjunto de funciones involucradas en el almacenamiento de mercancías entre dos etapas sucesivas de una cadena de suministro (Boysen, de Koster, & Weidinger, 2019). En esa misma línea, tiene el fin de controlar estratégicamente todo el movimiento y almacenamiento de inventario que sucede dentro del almacén, e implica ciertas compensaciones que su gerente tiene que cumplir, las cuales incluyen aspectos tangibles e intangibles en los que la decisión está directamente relacionada con los objetivos estratégicos de la organización: el costo de inventario versus el servicio al cliente, la velocidad de suministro versus la capacidad de almacenamiento, la velocidad de la operación versus la precisión del despacho de pedidos, el costo de mantenimiento versus las compras por volumen, etc. Por lo tanto, la gestión del almacenamiento se convierte en un aspecto vital que contribuye al éxito de una organización (Yerpude & Singhal, 2018).

Con la ayuda del Internet de las cosas, los datos en tiempo real se recopilan y transmiten a través de Internet, y se integran a los modelos de negocios que permiten decisiones rápidas en tiempo real. Operacionalmente en el almacenamiento, el IoT se puede utilizar para rastrear el recibo de material, monitorear en tiempo real las existencias, detectar desabastecimientos, y dar seguimiento efectivo a las órdenes, entre otros aspectos. Las tecnologías involucradas en el IoT que se enfocan en la identificación y el seguimiento son muchas e incluyen identificación por radiofrecuencia (RFID), sensores inteligentes, herramientas de picking automatizadas, Sistemas de gestión de almacenes (WMS), etc. De los cuales el RFID es ampliamente utilizado debido a las capacidades de identificación y seguimiento. Otros beneficios incluyen la simplificación de los procesos de negocios, la reducción del costo de mano de obra, el aumento de la precisión del movimiento y la ubicación del inventario, y el aumento constante de la eficiencia de los negocios (Abdel-Basset, Manogaran, & Mohamed, 2018; Yerpude & Singhal, 2018).

## 2.1. Propuestas en cada una de las funciones del almacenamiento

### 2.1.1. Recepción (receiving)

En primer lugar, por lo que se refiere a investigaciones enfocadas a la aplicación del Internet de las cosas (IoT) en la etapa de recepción, algunas de ellas se orientan principalmente a la interoperabilidad entre la gestión del almacenamiento

y la identificación por radiofrecuencia (RFID). Así, por ejemplo, Xu, (2016) analiza el diseño de un sistema logístico inteligente basado en una plataforma que consta de módulos RFID, sensores ZigBee, servidores, terminales móviles, entre otros elementos, con el fin de gestionar la entrada de mercancías dentro del terminal logístico para su posterior almacenamiento y trazabilidad durante el tránsito. De este modo, cuando se lleva a cabo la recepción de bienes dentro del almacén, se puede registrar la información relevante por medio de una etiqueta electrónica adherida a la superficie de los productos, y a través de un software, almacenar información asociada al remitente, destinatario, número de pedido, características de las referencias, etc. Otros autores como Alyahya, Wang, & Bennett (2016), Yuvaraj & Sangeetha (2016), y Tejesh & Neeraja (2018), desarrollan propuestas similares dentro de este campo de aplicación, involucrando módulos lectores de radiofrecuencia para transferir datos en tiempo real desde etiquetas hasta servidores, impactando y facilitando la identificación de mercancías desde el inicio de su recepción hasta su trazabilidad en el despacho.

En adición, se encuentran ciertas investigaciones relacionadas con otros aspectos que repercuten en esta operación. Yuen, Choy, Lam, & Tsang (2018) proponen un sistema inteligente híbrido basado en IoT para ayudar a los gerentes de almacén a tomar decisiones completas y oportunas sobre el control de calidad durante el flujo de entrada de productos y la formulación de acciones de seguimiento correspondientes. Al integrar Internet de las cosas por medio de sensores, una base de datos en la nube, y lógica difusa, el sistema permite el seguimiento en tiempo real de los datos ambientales y la apariencia durante el proceso de recepción, para la evaluación de la calidad de los productos antes de que se reciban para su almacenamiento. Hay que mencionar además, la investigación de Raineri, Perri, & Bianco (2019), en donde desarrollan un planificador de velocidad para la gestión de los vehículos guiados por sensores láser (Laser Guided Vehicles - LGV) que operan en almacenes automáticos. Dicho planificador involucra distintas funciones de viajes para los vehículos, las cuales pueden cambiar continuamente. En este orden de ideas, los autores agruparon dichas funciones de acuerdo con estaciones de acoplamiento que empiezan desde el área de entrada en donde se descargan las materias primas de los camiones hasta el área de salida para cargar el producto final. El beneficio de esta propuesta está orientado a la reducción del tiempo promedio medido en la operación, considerando distintos escenarios con variables referentes al tipo de vehículos y las condiciones de operación.

### 2.1.2. Almacenamiento (Storage)

Es importante mencionar aquellas investigaciones que están directamente relacionadas con la operación de almacenamiento. Trab et al. (2015) abordan el problema de seguridad y ubicación óptima de bienes en el Sistema de gestión de almacenes (Warehouse Management System - WMS) con respecto a los productos y la seguridad humana. Dichos autores proponen una arquitectura con mecanismos de decisión que se basa en una infraestructura de Internet de las cosas y sistemas multiagente (Multi-Agent System - MAS) para la gestión descentralizada y la planificación de la asignación de los productos con restricciones de compatibilidad. Los beneficios de la propuesta giran en torno a la asignación óptima de la ubicación de la mercancía para evitar los riesgos inherentes de accidentes peligrosos que pueden generarse por la incompatibilidad entre productos. Por otro lado, en el trabajo de Wang et al. (2015) se aborda el monitoreo de la calidad de los alimentos perecederos en el almacén, incluyendo una arquitectura configurable de sensores completos y un esquema de conmutación de red mejorado. Estos autores desarrollan un sistema de monitoreo de la cadena de suministro de alimentos perecederos en tiempo real basado en una red estándar ZigBee de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Network - WSN).

Similarmente, Shih & Wang (2016) realizan un estudio de la gestión de la cadena de frío relacionado con el dilema de tener que elegir entre el almacenamiento congelado y el almacenamiento refrigerado para la adecuación de productos. Para esto, proponen un enfoque basado en una arquitectura de Internet de las cosas que utiliza sensores inalámbricos para recopilar datos de temperatura e implementar la formulación de los criterios del punto de control crítico (PCC) en todo el proceso de entrega. Los beneficios de la investigación se basan en establecer un sistema que se adapte a la Norma Internacional de Seguridad Alimentaria, ISO 22000 / HACCP, la cual designa un punto de control crítico (PCC) para cada una de las etapas principales del proceso de preparación y distribución de alimentos, incluido el procesamiento de alimentos, la esterilización, el enfriamiento, la entrega, y la cocción. También, demuestran una reducción de

aproximadamente 10% del costo energético anual del enfriamiento en un caso de estudio.

Asimismo, Alyahya, Wang, & Bennett (2016) conducen una investigación sobre almacenamiento automatizado para reducir costos de mano de obra y la deficiencia de las operaciones de manejo de materiales, presentando una propuesta acerca de un esquema que involucra un sistema de gestión de inventario basado en identificación por radiofrecuencia (RFID) con la capacidad de interactuar con un mecanismo de almacenamiento automático sin ninguna intervención humana. Así mismo, Goudarzi, Malazi, & Ahmadi (2016), diseñan una arquitectura basada en IoT para la gestión de almacenes portuarios basada en el protocolo Chord y una tabla hash peer-to-peer, con el objetivo de aumentar la tolerancia a las fallas que pueden tener los sistemas de administración de almacenes centralizados. Por su parte, Trab et al. (2016) son otros de los autores que vuelven a abordar el problema de seguridad en el almacenamiento, investigando el diseño, el impacto, y las ventajas de un modelo de comunicación inspirado en Internet de las cosas que controla y monitorea los riesgos de seguridad en un contexto industrial peligroso que incluye un conjunto de mecanismos de interacción para crear un área segura y controlada. También, se puede mencionar el trabajo de Liu, Li, & Li, (2017), que plantean un sistema dinámico de monitoreo de seguridad integrando con sensores para registrar la temperatura, la humedad, y otra información del estado de almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. En esa misma línea, Trab, Zouinkhi, Bajic, Mohamed Naceur, & Chekir (2018) proponen una arquitectura de IoT para el sistema de monitoreo de riesgos en el almacenamiento de productos peligrosos, equipado con una plataforma de red de sensores inalámbricos ZigBee para controlar y monitorear las interacciones de los productos. Jedermann et al. (2018) abordan el tema de supervisión desde otro enfoque, esbozando el uso de sensores de parámetros como la temperatura del producto y la velocidad local del aire de refrigeración para alimentos frescos durante el almacenamiento.

Al mismo tiempo, otros estudios están asociados directamente a aspectos más concretos de la operación. Tervonen (2018) se enfoca en el control de calidad para el almacenamiento de vegetales, con una solución de IoT que incluye 10 nodos dentro de una red de sensores inalámbricos WSN (nueve nodos de medición de temperatura y humedad, y un nodo de coordinación), un enrutador que transmite datos de medición, una base de datos del servidor, y una interfaz gráfica de usuario remota que permite ver los resultados de las mediciones. A su vez, Tejesh & Neeraja (2018) estudian la reducción del esfuerzo que involucra mantener la información y ubicación detallada de los productos en los almacenes, por lo que desarrollan un sistema de gestión de inventario construido sobre la arquitectura de Internet de las cosas para rastrear los productos adjuntos a las etiquetas con información y respectivos sellos de tiempo. Dicho sistema está definido al uso de tecnologías de comunicación inalámbrica, específicamente identificación por radiofrecuencia (RFID). Lee et al. (2018) abordan la creciente complejidad y la variedad de pedidos en las operaciones de almacenes, por lo cual proponen un sistema de gestión WMS basado en Internet de las cosas con un enfoque analítico de datos avanzados, tecnología RFID, y sensores inalámbricos para rastrear y controlar partes, productos semiacabados, y productos terminados. Por último, se puede mencionar el trabajo de Yerpude & Singhal (2018), quienes exploran la transformación hacia un almacén inteligente (Smart Warehouse) mediante una hoja de ruta para establecer una Arquitectura Orientada a Servicios (Service Oriented Architecture) que se aplica a la implementación de IoT en una organización. Según los autores, el principal beneficio corresponde al ahorro de costos para la organización, ya que se aumenta la productividad del almacén con los mismos recursos.

### 2.1.3. Preparación de pedidos (picking)

En relación con estudios que presentan nuevos avances en la etapa de preparación de pedidos o picking, encontramos trabajos como el de Y.C. Wong (2016), en el cual se implementa un esquema de Internet de las cosas con aplicaciones móviles de rastreo de carga y sistemas de administración de bases de datos. El principal beneficio de su trabajo es facilitar el tiempo de rastreo en el proceso de selección de pedidos, evaluando las relaciones entre el tiempo de procesamiento de picking, el tiempo de búsqueda de la carga, la rotación del inventario, y el tiempo de operación del conteo de inventario en el almacén. Vasiljević, Miklić, Draganjac, Kovačić, & Lista (2016) también desarrollan una investigación para facilitar la preparación de pedidos y la infraestructura interna dentro del almacén, con el fin de obtener ubicaciones precisas. Tal propuesta involucra la localización de vehículos de alta precisión para el almacenamiento autónomo, también usan varios

algoritmos que sirven para determinar la posición del vehículo basándose solo en la información proporcionada por los sensores a bordo.

Con respecto a otras investigaciones, Culler & Long (2016) diseñan un sistema basado en el uso de Vehículos Guiados Automáticos (AGV) que funciona dentro del área de preparación de stock que se utilizará en la producción. Estos autores plantean un prototipo de almacén inteligente para apoyar la preparación de pedidos mediante cuatro robots móviles de uso múltiple, controles inalámbricos, y una cámara Kinect para obtener información visual, evitar obstáculos, y reconocer formas. Asimismo, Yuan & Gong (2016) estudian un sistema de alistamiento de pedidos ecológico utilizando robots móviles en lugar de la recolección manual en algunos centros de distribución minorista. Dichos robots solo se ejecutan cuando son necesarios, son silenciosos, y pueden trabajar casi sin iluminación. Además, los beneficios que se presentan están relacionados con una mejora en la productividad y la flexibilidad en el picking, dado que a medida que aumenta la velocidad de los robots, el tiempo de operación disminuye, sin mencionar que se configuran de acuerdo con un límite de velocidad superior que está determinado por la capacidad técnica, el ancho de los pasillos, y otras restricciones. De manera análoga, Cardarelli, Digani, Sabattini, Secchi, & Fantuzzi (2017) presentan una arquitectura en la nube que proporciona diferentes funcionalidades de sincronización de tiempo y representación visual de datos, incluyendo la coordinación de posiciones y movimientos que deben alcanzar los Vehículos Guiados Automáticos (AGV) durante la operación de picking/ubicación. Su propuesta permite configurar una asignación y planificación de rutas cooperativas y flexibles para evitar zonas de congestión, reportados obstáculos en un mapa de visualización en tiempo real para que los vehículos puedan enfrentar impedimentos inesperados en sus operaciones.

W. Zhou, Piramuthu, Chu, & Chu (2017) proponen un entorno de almacén inteligente donde los artículos de inventario y estantes son rastreados por un sistema basado en RFID, facilitando el conjunto de actividades operativas de supervisión, ubicación, y capacidad en función de estados de demanda estocástica. Otro artículo es el de Cui et al. (2018), quienes no solo introducen la tecnología de detección y reconocimiento que forma parte del Internet de las cosas, sino que también, construyen un modelo de fusión de datos y un protocolo mejorado que prolonga efectivamente la vida útil de la red de sensores. El principal beneficio de su trabajo es que resuelve el problema de colisión en la identificación de etiquetas y resalta su importancia en lograr la optimización en la manipulación de los productos dentro de la gestión del almacenamiento. Tatsumoto, Shiraishi, Cai, & Lin (2018) aplican un esquema de control en línea para modelar e inspeccionar un sistema de automatización de almacén atendido por múltiples robots móviles, con una política de búsqueda anticipada susceptible al control de sistemas de eventos discretos (Discrete Event System - DES). Su método propuesto para tiene enormes beneficios para los sistemas multiagente, pues es en línea, y por lo tanto no solo reduce el esfuerzo computacional, sino que también analiza los cambios dinámicos que puedan surgir en la búsqueda y recolección anticipada para mejorar las operaciones de picking.

Similar a las anteriores investigaciones, Hanson, Medbo, & Johansson (2018) igualmente indagan sobre la aplicación de la automatización en el picking de productos. Específicamente, su artículo trata sobre un caso de aplicación de Sistemas Robóticos de Cumplimiento Móvil (Robotic Mobile Fulfillment Systems - RMFS) en la selección de ordenes de bienes de consumo. Las enormes ventajas de su propuesta se relacionan con su fácil implementación y adaptación a volúmenes cambiantes. También, el operador puede ser mejor apoyado en el picking, en comparación con un sistema completamente manual, lo que respalda la precisión de la selección de mercancía, y reduce la necesidad de capacitación del operador. Zhao, Zhang, Yang, Fang, & Huang (2018) parten de que la información de ubicación dinámica de un producto en el almacén es vital para muchos procesos de preparación de pedidos e inventario. Su manuscrito se desarrolla dentro del contexto de un almacén de vehículos, optimizando la búsqueda, verificación y selección de estos bienes mediante un sistema de posicionamiento en interiores iBeacon (Indoor Positioning System - IPS). Su trabajo tiene un enorme potencial al proponer un nuevo método de seguimiento para el almacén de vehículos, con rentabilidad en el costo de mano de obra y el tiempo promedio de los procesos. Conjuntamente, ejecutan un caso de estudio en donde su sistema y arquitectura técnica no solo cumplen con requisitos basados en el costo y la capacidad de respuesta, sino también en una fácil ejecución. Por otro lado, L. Zhou et al. (2019) se centran en la preparación de pedidos en un centro de almacenamiento mediante un sistema de comunicación en tiempo real que utiliza dispositivos de lectura y escritura de datos. Los beneficios de tal iniciativa giran en torno al uso de computación móvil para proporcionar información útil,

precisa, y oportuna relacionada con la obtención de la ubicación de los productos en tiempo real, el almacenamiento de datos relevante, la reducción significativa del tiempo del pedido, y la reducción de costos operativos.

#### 2.1.4. Empaque (packing)

La sinergia entre la operación de empaque y el Internet de las cosas dentro del proceso de la gestión del almacenamiento es una de las etapas que registra pocos aportes generados desde la comunidad científica en los últimos cinco años. Li et al. (2017) proponen un sistema de envasado automatizado basado en Internet de las cosas y un algoritmo de empaquetado basado en la optimización adaptativa de enjambres de partículas (Particle Swarm Optimization - PSO). Tal sistema busca integrar la recopilación de datos, la gestión de empaquetado, la toma de decisiones, y la puesta en marcha del proceso mediante una red cibernética que conecta cada robot, sensor y máquina inteligente para lograr una alta velocidad, flexibilidad e intercambio de información en tiempo real. Además, cuando los clientes piden mercancía en línea, los pedidos se reciben y se reorganizan, y el sistema planifica el despliegue de artículos en una caja. Así, el algoritmo de embalaje mencionado controla la disposición de los artículos, compara el tamaño y el volumen de los elementos para elegir una caja del tamaño adecuado para decidir una disposición óptima de la mercancía. En el trabajo de Mani & Krishnai (2018), se desarrolla un sistema de empaque utilizando un algoritmo de priorización e Internet de las cosas para enviar y recibir datos. Los datos recopilados son almacenados en la nube para obtener mejores resultados, y conecta dispositivos físicos y sensores con el algoritmo propuesto. Del mismo modo, involucra un brazo robot para reducir el tiempo y el costo de mano de obra en las operaciones de ubicación, clasificación, y empaque.

También, vale la pena mencionar el trabajo de Schaefer & Cheung (2018), quienes proporcionan una descripción introductoria del empaquetado inteligente (Smart Packaging), el desarrollo de sensores, y analizan sus tecnologías subyacentes. A esto le sigue una presentación de los beneficios potenciales y las oportunidades emergentes en el sector de los envases, contrastadas por una serie de desafíos que primero deben superarse para que los envases inteligentes alcancen su máximo potencial. Finalmente, extraen conclusiones y presentan una perspectiva hacia el futuro que incluye las oportunidades desde el Internet de las cosas, las áreas de investigación críticas para trabajar, y las lecciones potenciales que se pueden aprender. Tsang et al. (2018) plantean la construcción de una red de sensores inalámbricos para desarrollar un empaque terciario más efectivo, y maximizar la duración de las condiciones ambientales óptimas en las operaciones. Esta propuesta se integra a un sistema de planificación de rutas basado en Internet de las cosas para diseñar un modelo de empaque de temperatura múltiple, monitorear el producto en tiempo real durante el transporte, y optimizar soluciones de enrutamiento.

#### 2.1.5. Despacho (shipping)

Por último, en la literatura más reciente también se han desarrollado propuestas dentro de la operación de despacho. Un ejemplo de ello es el estudio de Yu, Subramanian, Ning, & Edwards (2015), que se centra en el marco de rendimiento de procesos y selección de proveedores de servicios de entrega, proponiendo un modelo que incluye minoristas, proveedores y clientes para lograr la entrega oportuna y la satisfacción de tales clientes en la era del Internet de las cosas, la cual exige capacidades adicionales o mejoradas de los proveedores de servicios (asociadas a rastreo y seguimiento). En consecuencia, los autores plantean que los criterios de selección deben incluir la consideración de diferentes infraestructuras de hardware y software. En relación con la investigación de Chen (2015), se proporciona un sistema de rastreo basado en agentes autónomos, asociado a una arquitectura de Internet de las cosas que utiliza mapas cognitivos difusos (Fuzzy Cognitive Maps - FCM) y el método de reglas difusas para controlar la calidad y trazabilidad de los productos en la cadena de suministro. Yuvaraj & Sangeetha (2016) abordan el tema de la gestión inteligente de la cadena de suministro utilizando Internet de las cosas y sistemas de comunicación inalámbrica de bajo consumo. Dichos investigadores estudian la identificación por radiofrecuencia (RFID) y los sistemas de posicionamiento global (GPS) en el rastreo y despacho de bienes en cualquier lugar y en cualquier momento.

Todavía cabe señalar investigaciones como la Ruan & Shi (2016), quienes formulan un marco basado en Internet de



las cosas para monitorear las operaciones del despacho de frutas por medio de sensores. Su método involucra la evaluación de escenarios para obtener automáticamente el entorno de entrega y la probabilidad de ocurrencia más apropiada para cada uno de ellos. En la misma línea, Badia-Melis & Ruiz-Garcia (2016) ofrecen un estudio en donde proponen una implementación basada en Internet de las cosas para proporcionar un sistema de trazabilidad en tiempo real y monitoreo remoto combinado con los avances más recientes en etiquetas de comunicación de campo cercano (Near Field Communication - NFC) y métodos de estimación de la temperatura, para establecer una trazabilidad sólida y confiable en los alimentos. Así mismo, en el trabajo de Tsang et al. (2018), además del enfoque mencionado en la etapa de empaque, se resalta las funcionalidades para la trazabilidad del producto, y cuyo alcance involucra las operaciones de transporte y enrutamiento dentro del diseño de la red de sensores inalámbricos. Estos autores consideran el problema del despacho efectivo de alimentos perecederos y sus requisitos de manejo, e integran las rutas de entrega óptimas mediante el uso de algoritmos genéticos (GA). Galvez, Mejuto, & Simal-Gandara (2018) examinan el potencial de la tecnología blockchain, y su creciente presencia disruptiva en el Internet de las cosas, para asegurar la trazabilidad y autenticidad en la cadena de suministro de alimentos. El manuscrito muestra como las empresas pueden ser pioneras en soluciones innovadoras que utilizan esta tecnología para tareas como el seguimiento de productos a medida que se mueven en la cadena de suministro, junto con el monitoreo de su ubicación y estado.

Por otra parte, la investigación de Molka-Danielsen, Engelseth, & Wang (2018) se fundamenta en la integración a gran escala de tecnologías de red de sensores inalámbricos para el monitoreo de las condiciones del aire y el flujo eficiente de materiales en bases logísticas de despacho o envío. Su trabajo aborda tecnologías de Internet de las cosas que involucran redes de sensores inalámbricos (WSN) y Big Data (BD). En adición a lo anterior, Lu, Liu, Qi, & Dai (2018) proponen un algoritmo de localización para rastrear múltiples objetivos usando Internet de las cosas, el cual funciona generando una señal de detección con datos de muestreo dispersos que ubican con precisión múltiples objetivos y reduce significativamente el tráfico de comunicación de la red. Si bien dicha propuesta no se dirige específicamente a la gestión del almacenamiento, se considera necesario mencionarla debido a las aplicaciones que puede tener en muchos campos que involucren IoT y operaciones de detección, localización y seguimiento de ordenes de pedidos en el proceso de despacho. Finalmente, AlShaer, Taher, Haque, Hacid, & Dbouk (2019) exploran un marco híbrido para procesar un volumen masivo de datos en forma de lotes y en tiempo real basado en un algoritmo de agrupamiento jerárquico. Su trabajo parte de la consideración de que el Internet de las cosas está conduciendo a un cambio de paradigma dentro de la industria logística en donde los proveedores de servicios utilizan tecnologías de sensores, GPS, o telemetría para rastrear y administrar sus procesos de envío. De este modo, la correlación de los datos de diferentes sensores y la ejecución del análisis de datos en tiempo real brindan oportunidades para predecir eventos y evitar retrasos inesperados en la entrega.

### 3. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra que el Internet de las cosas en la gestión de almacenes continúa teniendo una gran relevancia dentro de la comunidad científica. Si bien la revisión de las nuevas aplicaciones expuesta en este manuscrito está lejos de ser definitiva, se considera que una investigación de este tipo es otro paso importante dentro de la investigación científica no solo para actualizar y mejorar la comprensión teórica de académicos y profesionales, sino también, para facilitar el impulso inicial de futuras investigaciones sobre la adopción del Internet de las cosas en estas operaciones fundamentales de la cadena de suministro.

Más allá de sistemas específicos, se notaron algunas tendencias generales emergentes en cada una de las funciones de la operación de almacenamiento. Entre ellas, se encontró que aquellas relacionadas con la identificación por radiofrecuencia (RFID) fueron las que registraron una mayor contribución en la etapa de recepción, con el fin de potenciar la identificación de mercancías desde el inicio de su recibo hasta su trazabilidad en el despacho, y apoyar la toma de decisiones sobre el control de calidad durante el flujo de entrada y seguimiento de productos. Por otro lado, las investigaciones sobre la actividad de almacenamiento o ubicación de stock buscan, en su mayoría, abordar las condiciones de seguridad y la perfilación óptima de productos en el almacén, en donde cobra suma relevancia la integración del Sistema de Gestión de Almacenes (WMS) con una arquitectura de Internet de las cosas constituida principalmente por

redes de sensores inalámbricos.

De manera semejante, se desarrollaron propuestas para la operación de picking que incluyeron aplicaciones de rastreo de carga, Vehículos Guiados Automáticos (AGV), y sistemas de gestión de bases de datos para minimizar el tiempo de búsqueda y rastreo en el proceso de alistamiento de órdenes, facilitando la preparación de pedidos, y disminuyendo la rotación de mercancía y el tiempo de operación que toma el conteo de inventario en el almacén. Con respecto al empaque o packing, los aportes se relacionan con el diseño de sistemas de empaquetado o envasado automatizado basado en Internet de las cosas, el cual funciona principalmente para controlar las condiciones de los artículos, compara el tamaño y el volumen de los productos, y elegir una disposición óptima de la mercancía. Por último, dentro de la operación de despacho, las propuestas esencialmente giran en torno a sistemas de seguimiento dentro de una arquitectura de Internet de las cosas. Tales iniciativas combinan sistemas de rastreo basado en agentes autónomos, radiofrecuencia (RFID), y sistemas de posicionamiento global (GPS) para monitorear el flujo de salida de productos y establecer una trazabilidad sólida y confiable.

Notablemente, el Internet de las cosas (IoT) está revolucionando el mundo que nos rodea, desde nuestros hogares hasta empresas e industrias. La logística no es una excepción. Al comprender mejor sus implicaciones en la gestión de almacenes, no solo los operadores logísticos y sus clientes comerciales pueden beneficiarse, sino también los consumidores finales, ya que las ventajas se extienden por toda la cadena de suministro. El almacén debe ser mucho más que una instalación para almacenar inventario. Aprovechando la última tecnología de la cadena de suministro y el Internet de las cosas, un almacén puede servir como un centro para aumentar la eficiencia y la velocidad en toda la red de valor.

Como cualquier otro esfuerzo académico, este artículo presenta limitaciones inherentes, dado que convendría evaluar los beneficios inmediatos y el valor potencial a largo plazo de una determinada iniciativa de IoT según sus autores. En adición, otro aspecto fundamental tiene que ver en como las empresas pueden superar los desafíos asociados con seguir una estrategia exitosa de IoT y evitar resultados indeseables en su inversión, gastos excesivos adicionales, o problemas de ciberseguridad. Consecuentemente, no todas las compañías están igualmente predisuestas a implementar dispositivos IoT, solo por mencionar un ejemplo, los minoristas que venden su propia marca pueden configurar fácilmente el etiquetado RFID, pero los que venden productos de múltiples marcas enfrentan mayores desafíos. En concreto, la implementación de iniciativas de este tipo puede estar impactadas por diversos factores importantes que conviene ser analizados.

#### 4. REFERENCIAS

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., & Mohamed, M. (2018). Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems. *Future Generation Computer Systems*, *86*, 614–628. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.051>
- AlShaer, M., Taher, Y., Haque, R., Hacid, M.-S., & Dbouk, M. (2019). IBRIDIA: A hybrid solution for processing big logistics data. *Future Generation Computer Systems*, *97*, 792–804. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.044>
- Alyahya, S., Wang, Q., & Bennett, N. (2016). Application and integration of an RFID-enabled warehousing management system – a feasibility study. *Journal of Industrial Information Integration*, *4*, 15–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jii.2016.08.001>
- Badia-Melis, R., & Ruiz-Garcia, L. (2016). 11 - Real-Time Tracking and Remote Monitoring in Food Traceability. In M. Espiñeira & F. J. Santaclara (Eds.), *Advances in Food Traceability Techniques and Technologies* (pp. 209–224). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100310-7.00011-9>
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1245–1252. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
- Boysen, N., de Koster, R., & Weidinger, F. (2019). Warehousing in the e-commerce era: A survey. *European Journal of Operational Research*, *277*(2), 396–411. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.023>
- Cardarelli, E., Digani, V., Sabattini, L., Secchi, C., & Fantuzzi, C. (2017). Cooperative cloud robotics architecture for the coordination of multi-AGV systems in industrial warehouses. *Mechatronics*, *45*, 1–13.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2017.04.005>
- Chen, R.-Y. (2015). Autonomous tracing system for backward design in food supply chain. *Food Control*, 51, 70–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.004>
- CSCMP. (2019). Council of Supply Chain Management Professionals . SCM Definitions and Glossary of Terms (Pdf File). Retrieved June 1, 2019, from [https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921](https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921)
- Cui, Y., Ma, Y., Zhao, Z., Li, Y., Liu, W., & Shu, W. (2018). Research on data fusion algorithm and anti-collision algorithm based on internet of things. *Future Generation Computer Systems*, 85, 107–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.016>
- Culler, D., & Long, J. (2016). A Prototype Smart Materials Warehouse Application Implemented Using Custom Mobile Robots and Open Source Vision Technology Developed Using EmguCV. *Procedia Manufacturing*, 5, 1092–1106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.080>
- Davarzani, H., & Norrman, A. (2015). Toward a relevant agenda for warehousing research: literature review and practitioners' input. *Logistics Research*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s12159-014-0120-1>
- Galvez, J. F., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222–232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.011>
- Goudarzi, P., Malazi, H. T., & Ahmadi, M. (2016). Khorramshahr: A scalable peer to peer architecture for port warehouse management system. *Journal of Network and Computer Applications*, 76, 49–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.09.015>
- Hanson, R., Medbo, L., & Johansson, M. I. (2018). Performance Characteristics of Robotic Mobile Fulfillment Systems in Order Picking Applications. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1493–1498. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.290>
- Jedermann, R., Borysov, M., Hartgenbusch, N., Jaeger, S., Sellwig, M., & Lang, W. (2018). Testing Lora for food applications - Example application for airflow measurements inside cooled warehouses with apples. *Procedia Manufacturing*, 24, 284–289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.026>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Parekh, H., & Joshi, S. (2019). Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 48, 154–168. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.02.020>
- Lee, C., Yaqiong, L., Ng, K., Ho, W., & Choy, K. (2018). Design and application of Internet of things-based warehouse management system for smart logistics. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2753–2768. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1394592>
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>
- Li, T. S., Liu, C., Kuo, P., Fang, N., Li, C., Cheng, C., ... Chen, C. (2017). A Three-Dimensional Adaptive PSO-Based Packing Algorithm for an IoT-Based Automated e-Fulfillment Packaging System. *IEEE Access*, 5, 9188–9205. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2702715>
- Liu, X., Li, J., & Li, X. (2017). Study of dynamic risk management system for flammable and explosive dangerous chemicals storage area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 49, 983–988. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.02.004>
- Lu, X., Liu, J., Qi, W., & Dai, Q. (2018). Multiple-target tracking based on compressed sensing in the Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, 122, 16–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.08.006>
- Mani, M., & Krishnai, V. (2018). Fabricating an articulate robot for automated packing system by utilizing IOT system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 402, 1–13. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/402/1/012018>
- Molka-Danielsen, J., Engelseh, P., & Wang, H. (2018). Large scale integration of wireless sensor network technologies for air quality monitoring at a logistics shipping base. *Journal of Industrial Information Integration*, 10, 20–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.02.001>
- Nord, J. H., Koohang, A., & Paliszkiwicz, J. (2019). The Internet of Things: Review and theoretical framework. *Expert Systems with Applications*, 133, 97–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.014>
- Raineri, M., Perri, S., & Bianco, C. G. Lo. (2019). Safety and efficiency management in LGV operated warehouses.

- Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 57, 73–85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.11.003>
- Ray, P. P. (2018). A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30(3), 291–319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003>
- Reaidy, P. J., Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2015). Bottom-up approach based on Internet of Things for order fulfillment in a collaborative warehousing environment. *International Journal of Production Economics*, 159, 29–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.017>
- Ruan, J., & Shi, Y. (2016). Monitoring and assessing fruit freshness in IOT-based e-commerce delivery using scenario analysis and interval number approaches. *Information Sciences*, 373, 557–570. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.07.014>
- Saarikko, T., Westergren, U. H., & Blomquist, T. (2017). The Internet of Things: Are you ready for what's coming? *Business Horizons*, 60(5), 667–676. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.010>
- Schaefer, D., & Cheung, W. M. (2018). Smart Packaging: Opportunities and Challenges. *Procedia CIRP*, 72, 1022–1027. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.240>
- Shih, C.-W., & Wang, C.-H. (2016). Integrating wireless sensor networks with statistical quality control to develop a cold chain system in food industries. *Computer Standards & Interfaces*, 45, 62–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csi.2015.12.004>
- Tatsumoto, Y., Shiraishi, M., Cai, K., & Lin, Z. (2018). Application of online supervisory control of discrete-event systems to multi-robot warehouse automation. *Control Engineering Practice*, 81, 97–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.003>
- Tejesh, B. S. S., & Neeraja, S. (2018). Warehouse inventory management system using IoT and open source framework. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3817–3823. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.02.003>
- Tervonen, J. (2018). Experiment of the quality control of vegetable storage based on the Internet-of-Things. *Procedia Computer Science*, 130, 440–447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.065>
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? *Procedia Manufacturing*, 13, 1175–1182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191>
- Trab, S., Bajic, E., Zouinkhi, A., Abdelkrim, M. N., Chekir, H., & Ltaief, R. H. (2015). Product Allocation Planning with Safety Compatibility Constraints in IoT-based Warehouse. *Procedia Computer Science*, 73, 290–297. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.033>
- Trab, S., Bajic, E., Zouinkhi, A., Thomas, A., Abdelkrim, M. N., Chekir, H., & Ltaief, R. H. (2016). A communicating object's approach for smart logistics and safety issues in warehouses. *Concurrent Engineering*, 25(1), 53–67. <https://doi.org/10.1177/1063293X16672508>
- Trab, S., Zouinkhi, A., Bajic, E., Mohamed Naceur, A., & Chekir, H. (2018). *IoT-based risk monitoring system for safety management in warehouses*. *International Journal of Information and Communication Technology* (Vol. 13). <https://doi.org/10.1504/IJICT.2018.095049>
- Tsang, Y. P., Choy, K. L., Wu, C. H., Ho, G. T. S., Lam, H. Y., & Tang, V. (2018). An intelligent model for assuring food quality in managing a multi-temperature food distribution centre. *Food Control*, 90, 81–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.02.030>
- Vasiljević, G., Miklič, D., Draganjac, I., Kovačić, Z., & Lista, P. (2016). High-accuracy vehicle localization for autonomous warehousing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 42, 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.05.001>
- Wang, J., Wang, H., He, J., Li, L., Shen, M., Tan, X., ... Zheng, L. (2015). Wireless sensor network for real-time perishable food supply chain management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110, 196–207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.11.009>
- Witkowski, K. (2017). Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Engineering*, 182, 763–769. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>
- Wortmann, F., & Flüchter, K. (2015). Internet of Things: Technology and Value Added. *Business and Information Systems Engineering*, 57(3), 221–224. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3>
- Xu, J. (2016). The Design of Intelligent Logistics System Based on Internet of Things. In *International Conference on Sensor Network and Computer Engineering* (pp. 554–557). Atlantis Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.2991/icsnce-16.2016.107>

- Y.C. Wong, E. (2016). *Development of Mobile Voice Picking and Cargo Tracing Systems with Internet of Things in Third-Party Logistics Warehouse Operations*. *International Journal of Management and Sustainability* (Vol. 5). <https://doi.org/10.18488/journal.11/2016.5.4/11.4.23.29>
- Yerpude, S., & Singhal, T. (2018). *SMART Warehouse with Internet of Things supported Inventory Management System*. *International Journal of Pure and Applied Mathematics* (Vol. 118).
- Yu, J., Subramanian, N., Ning, K., & Edwards, D. (2015). Product delivery service provider selection and customer satisfaction in the era of internet of things: A Chinese e-retailers' perspective. *International Journal of Production Economics*, 159, 104–116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.031>
- Yuan, Z., & Gong, Y. (2016). Improving the Speed Delivery for Robotic Warehouses. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1164–1168. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.661>
- Yuen, J., Choy, K. L., Lam, H. Y., & Tsang, Y. P. (2018). Design of a Fuzzy Quality Evaluation and Control System with Internet of Things (IoT) for Streamlining Inbound Process in the Manufacturing Industry. *Int'l Conf. Internet Computing and Internet of Things*, 69–75.
- Yuvaraj, S., & Sangeetha, M. (2016). Smart supply chain management using internet of things(IoT) and low power wireless communication systems. In *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)* (pp. 555–558). <https://doi.org/10.1109/WiSPNET.2016.7566196>
- Zhao, Z., Zhang, M., Yang, C., Fang, J., & Huang, G. Q. (2018). Distributed and collaborative proactive tandem location tracking of vehicle products for warehouse operations. *Computers & Industrial Engineering*, 125, 637–648. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.005>
- Zhou, L., Liu, J., Fan, X., Zhu, D., Wu, P., & Cao, N. (2019). Design of V-Type Warehouse Layout and Picking Path Model Based on Internet of Things. *IEEE Access*, 7, 58419–58428. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913144>
- Zhou, W., Piramuthu, S., Chu, F., & Chu, C. (2017). RFID-enabled flexible warehousing. *Decision Support Systems*, 98, 99–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dss.2017.05.002>