



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL ÁMBITO DE LA LOGÍSTICA

Autor: D. Tamara Revuelta Martínez

Tutor: D. Pedro Sanz Angulo

Valladolid, Junio , 2019

A mis padres, por haberme animado y apoyado hasta el final durante mi carrera académica.

RESUMEN

Actualmente, son cada vez más las organizaciones que adoptan las tecnologías emergentes en operaciones industriales, logísticas, gestiones económicas, ... La digitalización en el sector industrial está permitiendo transformar los sistemas de producción convencionales en sistemas "inteligentes", gracias al empleo de nuevas herramientas que son fruto del desarrollo tecnológico: *Big Data, Business Intelligence, Internet of Things, Realidad Aumentada, ...*, entre otras. Por ello, es evidente que la visión de la Industria 4.0 (I4) influye en el sector logístico, planteando así nuevos retos y desafíos y empleando nuevas herramientas logísticas que, a su vez permitan nuevos planteamientos a problemas ya existentes, como la optimización de la *cadena de suministro*. Toda esta nueva conceptualización de la logística se plantea como un desarrollo paralelo a la I4, dando lugar a lo que se conoce como Logística 4.0. En el presente documento, se tratarán todos estos temas y, especialmente, cómo la logística es capaz de integrar en sus procesos las tecnologías desarrolladas para la Industria 4.0.

PALABRAS CLAVE: I4, LOGÍSTICA, TECNOLOGÍAS, INTELIGENCIA, DIGITALIZACIÓN.

ABSTRACT

Currently, more organizations are adopting emerging technologies in industrial operations, logistics, management, business, ... The digitalization in the industrial sector allows transforming conventional production systems into "smart" systems, thanks to the use of tools fruit of the technological development: *Big Data, Business Intelligence, Internet of Things, Augmented Reality, ...*, among others. Therefore, it is clear that the vision of the I4 influences in the logistics sector, defining new challenges. Logistic tools and conventional systems have reached their limits, and that is why they are subject to new approaches such as the optimization of the supply chain. All this new conceptualization of logistics is considered as a parallel development to the I4, what is known as Logistics 4.0. In this document, all these issues will be discussed, especially how logistics is able to integrate the technologies developed for the Industry 4.0.

KEY WORDS: I4, LOGISTICS, TECHNOLOGIES, INTELLIGENCE, DIGITALIZATION.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	I
ANTECEDENTES	II
MOTIVACIÓN.....	II
OBJETIVOS.....	III
ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	III
1. INDUSTRIA 4.0. LA CUARTA REVOLUCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN: LAS REVOLUCIONES INDUSTRIALES.....	1
1.2. TECNOLOGÍAS HABILITADORAS DE LA INDUSTRIA 4.0.....	3
1.2.1. TECNOLOGÍAS DE LA I4	4
1.3. EL IMPACTO DE LA INDUSTRIA 4.0	9
1.3.1. NUEVOS RETOS Y DESAFÍOS DE LA I4	10
1.3.2. LOS RETOS DE LA I4 EN ESPAÑA	12
1.3.3. LOS EFECTOS DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA INDUSTRIA	15
1.3.4. BENEFICIOS DE LA I4 EN LA INDUSTRIA ESPAÑOLA	16
2. INTRODUCCIÓN A LA LOGÍSTICA	19
2.1. INTRODUCCIÓN	19
2.2. DEFINICIÓN.....	20
2.3. ORIGEN Y EVOLUCIÓN.....	22
2.4. LA CADENA DE SUMINISTRO.....	26
2.4.1. ¿QUÉ ES UNA CADENA DE SUMINISTRO?.....	26
2.4.2. ETAPAS DE DECISIÓN EN UNA CADENA DE SUMINISTRO	29
2.4.3. DESEMPEÑO DE LAS DIRECTRICES EN UNA CADENA DE SUMINISTRO.....	30
2.5. LA LOGÍSTICA Y LAS TIC.....	32
2.6. LA LOGÍSTICA INVERSA	35
2.6.1. DEFINICIÓN	35
2.6.2. LA LOGÍSTICA INVERSA VS. LOGÍSTICA DIRECTA.....	36
2.6.3. LOGÍSTICA INVERSA EN LA CADENA DE SUMINISTRO. LOGÍSTICA VERDE.....	38
2.7. IMPACTO DE LA LOGÍSTICA EN EL MUNDO: LA GLOBALIZACIÓN	40
3. LA I4 APLICADA A LA LOGÍSTICA - PARTE I	43
3.1. INTRODUCCIÓN	43
3.2. LA REALIDAD AUMENTADA, AR	45
3.3. RFID.....	48
3.4. DRONES.....	51
3.5. BLOCKCHAIN.....	54
3.6. ROBOTS INTELIGENTES.....	58
4. LA I4 APLICADA A LA LOGÍSTICA - PARTE II	63
4.1. MACHINE LEARNING	63
4.1.1. DEEP LEARNING	68
4.2. IoT	70
4.3. BIG DATA.....	73
4.4. SIMULACIÓN.....	77
5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	81
6. BIBLIOGRAFÍA	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Las revoluciones industriales en la historia. Adaptado de (Hock, Goh, Flores, & Yun, 2017).....	2
Figura 1.2: Tecnologías habilitantes de la I4.....	4
Figura 1.3: Representación gráfica de la evolución del porcentaje de usuarios de internet (Grupo Banco Mundial, 2019).....	6
Figura 1.4: AM “capa a capa” (Barroso, 2018).....	7
Figura 1.5: Smart Factory (Rojko, 2017).....	9
Figura 1.6: Iniciativas mundiales hacia la I4 (Hock, Goh, Flores, & Yun, 2017).....	10
Figura 1.7: Principales dimensiones que construyen las bases de la I4 (Gates & Bremicker, 2017).....	12
Figura 2.1: Diagrama de bloques de la cadena de suministro de Wal-Mart (Meindl & Chopra, 2008).....	27
Figura 2.2: Diagrama de bloques de una red de suministro (Meindl & Chopra, 2008).....	28
Figura 2.3: La Logística inversa vs. Logística directa. Adaptación (López, 2010).....	36
Figura 2.4: Flujo de la logística inversa o “logística verde”. Adaptado de (López, 2010).....	39
Figura 3.1: Smartglasses AR (IVACE, 2016).....	45
Figura 3.2: Picking a través de Smartglasses de AR (Geiger, 2018).....	47
Figura 3.3: Lectura mediante sistema RFID (Sick, 2018).....	50
Figura 3.4: Trazabilidad producto a lo largo de la cadena de suministro median RFID (Dipole, 2018).....	51
Figura 3.5: Área de estudio para un dron (Alwater, Loke, & Rahayu, 2018).....	52
Figura 3.6: Reparto mediante drones (Desjardins, 2018).....	52
Figura 3.7: modelo distribuido Blockchain vs. Centralizado (tradicional) (Sánchez, Cuenca, & Puertas, 2017) ...	55
Figura 3.8: Etapas en una transacción empleando Blockchain (stocklogistics, 2018).....	55
Figura 3.9: Red blockchain en transporte de mercancías terrestre (Maestre, 2018).....	57
Figura 3.10: AGV diseñado por Nuro para la entrega de productos (Li, Yan , & Li, 2018).....	59
Figura 3.11: Autonomous tugging train (BMW Group, 2019).....	61
Figura 3.12: Smart Transport Robots de Group BMW (BMW Group, 2019).....	61
Figura 4.1: Lowebot, robot autónomo que emplea algoritmos Machine Learning (Lowe's, 2016).....	67
Figura 4.2: Detección de baches en carretera gracias al empleo Deep Learning (Arriola, 2018).....	69
Figura 4.3: Entorno simulador “Siemens Tecnomatix Plant Simulation” (Scanlan, 2018).....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Evolución del porcentaje de usuarios de internet por país (Grupo Banco Mundial, 2019).....	5
Tabla 2.1: Evolución del concepto función logística (Servera, 2010).....	23
Tabla 2.2: Logística inversa vs. Logística directa, adaptado de (Feal, 2008).....	37
Tabla 2.3: Costes asociados a la logística inversa vs. Logística directa (Tibben-Lembke & Rogers, 2002).....	38
Tabla 4.1: Diferencias entre el modelo ML y modelo tradicional (Calvo, Guzmán, & Ramos, 2018).....	64

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la producción industrial está impulsada por la competencia global y la necesidad de una rápida adaptación de la producción a las demandas cambiantes que experimenta el mercado. La industria 4.0 representa un enfoque prometedor para hacer frente a todos estos cambios, sobre todo en la integración en los modelos de negocio de las organizaciones, así como la integración de todos los actores que tienen lugar en la cadena de valor de la empresa, esto es, tanto proveedores como clientes.

La cuarta revolución industrial está marcada por la aparición de nuevas tecnologías como el IoT (*Internet of Things*), robots inteligentes, *Business Intelligence*, *Machine Learning*, Big Data, realidad aumentada, identificación mediante RFID, ..., que son fruto de la transformación digital que experimentan nuestras industrias en la actualidad. Si las empresas no comprenden los cambios venideros y las oportunidades de la industria 4.0, corren el riesgo de perder rentabilidad y, por tanto, competitividad en los mercados. Para los ejecutivos de las empresas de carácter tradicional, el cambio que trae consigo la cuarta revolución industrial supondrá una transformación en sus modelos de negocio.

La industria 4.0 es uno de los temas punteros en la actualidad, principalmente por su impacto directo en el sector industrial, logístico y de manufactura. La cuarta revolución industrial se centra en crear un entorno “inteligente” dentro del sistema en el que se aplica, es decir, contribuir de manera directa a la transformación digital de las organizaciones.

Aunque son muchas las aplicaciones de la I4, en el presente documento nos centraremos en el área de la logística: cómo se pueden optimizar las cadenas de suministro mediante la aplicación de las diferentes tecnologías habilitadoras, consiguiendo un sistema logístico informatizado, digitalizado e inteligente capaz de trabajar a tiempo real y realizar análisis inteligentes como el procesamiento de los datos almacenados en las bases de datos; por ejemplo, desarrollar unas gafas de realidad aumentada para desempeñar el *picking* en grandes almacenes, o cómo explotar una base de datos para determinar tendencias o patrones en nuestro proceso productivo. Estas son algunas de la infinidad de aplicaciones que presenta la I4 en el mundo industrial.

Si bien es cierto, algunas organizaciones aun niegan como la industria 4.0 puede llegar a impactar en su negocio o simplemente presentan dificultades para encontrar el talento o conocimiento para saber cómo adoptar las tecnologías habilitadoras a su modelo de negocio. Sin embargo, la mayoría de las mismas están experimentando cambios significativos como resultado de la aplicación de las tecnologías habilitadoras de la I4 para llegar a convertirse en la fábrica inteligente del futuro.

Por lo tanto, la industria 4.0 ofrece la oportunidad para que las organizaciones optimicen sus operaciones de manera rápida y eficiente, asumiendo nuevas responsabilidades de trabajo y reclutando nuevos empleados cualificados capaces de priorizar, filtrar la información y tomar decisiones de manera conjunta, es decir, trabajando en equipo.

ANTECEDENTES

A lo largo de la historia, la industria en general y el sector logístico en particular han experimentado cambios drásticos en su conceptualización como en su aplicación. En el siglo XVIII, con la invención de la máquina de vapor se da comienzo a la Primera Revolución Industrial, permitiendo la sustitución de las operaciones manuales implementadas por las máquinas, en el entorno manufacturero.

En la primera década del siglo XX, surge la energía eléctrica y los motores de combustión interna, y con ello la producción masiva a escala Industrial. Todos estos acontecimientos dieron lugar a un nuevo período: la Segunda Revolución industrial. La Tercera Revolución Industrial surge a principios de siglo XXI gracias al incremento exponencial del número de usuarios conectados a internet, la automatización de las operaciones industriales mediante el empleo de la robótica y el desarrollo de las tecnologías de la comunicación e información.

Estos son algunos de los acontecimientos más destacados que permitieron la aparición de lo que actualmente se conoce como la Cuarta Revolución Industrial o también conocida como Industria 4.0 (I4), que se explicará con mayor grado de detalle en dicho documento. La I4 se fundamenta en las denominadas tecnologías habilitadoras, basadas en la recolección de datos, la explotación de los mismos, la realización de operaciones de forma autónomas, y la fabricación inteligente de productos inteligentes. En definitiva, la I4 fomenta la implementación y desarrollo de “fabricas inteligentes” (*Smart factories*).

MOTIVACIÓN

La industria 4.0 está suponiendo un cambio sustancial en las organizaciones y en la concepción de la cadena suministro dentro del área de la logística. Parece obvio apuntar que aquellas empresas que no centren sus esfuerzos en llevar a cabo la transformación digital se quedarán rezagadas y, por tanto, no serán competitivas en un mercado cada vez más interconectado y globalizado.

Por ello, muchas son las empresas que investigan e invierten recursos para optimizar sus procesos mediante la implantación de las tecnologías habilitadoras. Es vital que cualquier trabajador considerado cualificado tenga nociones de lo que está suponiendo y supondrá la transformación digital, ya que sin aún no la ha experimentado en su entorno de trabajo, lo hará.

Es importante comprender el potencial que trae consigo la cuarta revolución industrial, ya que no solo afectará a los procesos de fabricación, sino también a otras áreas como son la logística, medicina, seguridad, etc. Esto quiere decir que su alcance es mucho más amplio de lo que actualmente conocemos, incluso capaz de transformar a la sociedad, modificando la manera en la que hacemos las cosas y favoreciendo las interacciones cliente-proveedor.

La motivación principal es el conocimiento y la aplicación de estas tecnologías. Saber por qué y para qué se utilizan, en qué áreas y cómo poder explotar estos conocimientos, en el sector logístico, conducir a las empresas hacia la logística 4.0, siendo esta una logística moderna, digitalizada e inteligente, que tiene como objetivo integrar recursos logísticos a través de las tecnologías de la comunicación y de la informática para reducir costes y mejorar los niveles de servicio al cliente.

OBJETIVOS

El principal objetivo del presente documento es dar a conocer cuáles son las aplicaciones de las tecnologías habilitadoras de la industria 4.0 en el sector logístico, para lo que será necesario conocer qué es la logística, cuál fue su origen y evolución y qué tipos de logística nos encontramos en la actualidad.

Muchas son las empresas líderes en la incorporación de las tecnologías de la industria 4.0 en sus procesos, pero muy pocas las que han conseguido una transformación digital al completo. Por ello, se hablará de cuáles son los nuevos desafíos que presenta la industria 4.0 y el porqué de estos.

El presente documento se adentrará en el objetivo y la estructura de los sistemas logísticos inteligentes, desarrollados por empresas líderes en mercado y basados en un principio fundamental: la aplicación de las tecnologías habilitadoras y adaptación de las mismas a l sector en cuestión. Gracias a lo cual, será posible sincronizar la producción, la logística y el flujo de información, potenciando la eficiencia y calidad de las operaciones del sistema logístico y mejorando la competitividad de las empresas.

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente documento consta de cinco capítulos, el primero de los cuales introduce el concepto de industria 4.0: por qué surge, en qué contexto y cuáles son sus ambiciones y retos en el paradigma actual de la industria. Además, se detallan de manera esquemática las diferentes tecnologías habilitadoras que conforman la estructura elemental de la industria 4.0.: Big Data, Realidad Aumentada, Internet of Things, Intelligents Robots, Machine Learning, RFID, ..., entre otras.

En el segundo capítulo nos centramos en el concepto de la logística, cómo surge y cómo ha evolucionado su conceptualización. No obstante, también se comentan cuáles son las principales características de la cadena de suministro, siendo esta una parte vital de la logística. También, se expondrán los diferentes tipos de logística que en la actualidad nos encontramos, incluida la logística inversa. Finalmente, se presentará la logística fruto de la

aplicación de las tecnologías de la información y comunicación, constituyendo la base de lo que se denomina Logística 4.0.

Los dos últimos capítulos del documento se focalizan en explicar y detallar las distintas tecnologías habilitadoras de la industria 4.0 aplicadas en el área de la logística. En primera instancia, se comentará la base y fundamento de la tecnología y, posteriormente, se expondrán distintos casos prácticos aplicados en empresas que apuestan por la inversión, desarrollo e implementación de las tecnologías habilitadoras en sus procesos logísticos.

Por último, se exponen las conclusiones y líneas futuras extraídas de la elaboración del documento en cuestión, junto con la bibliografía consultada para su redacción.

1. INDUSTRIA 4.0. LA CUARTA REVOLUCIÓN

Los recientes avances en las diferentes áreas tecnológicas como son el Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*), la nube de datos, Big Data o los denominados sistemas ciber-físicos, permiten impulsar a la industria a una nueva concepción, conocida por el nombre de industria 4.0.

En este capítulo se van a exponer las principales tecnologías habilitadoras sobre las que se sustenta la industria 4.0. Pero antes de adentrarnos en la materia en cuestión, se describirá qué es la industria 4.0, por qué surge y dónde surge, cuál es el contexto en el que se desarrolla y cuál es su implicación en el ámbito tecnológico, social y económico, así como los cambios que ha sufrido nuestra sociedad e industria gracias a las distintas revoluciones que han tenido lugar en la historia.

1.1. INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0 (Hock, Goh, Flores, & Yun, 2017) también conocida como “Industria conectada”, “Fábrica inteligente” o “Cuarta revolución industrial”, tuvo su cuna en un proyecto de estrategia de alta tecnología llevado a cabo por el Gobierno de Alemania durante el año 2011 en la Feria de Hannover. Sin embargo, será más tarde, en 2013, cuando se materializa el concepto “Industria 4.0” (I4) de la mano de un grupo de expertos en la materia en la misma feria de Hannover.

El término Industria 4.0 alude a todos aquellos sistemas, máquinas, tecnologías y procesos del sector industrial gracias al empleo de las nuevas tecnologías emergentes, como son los autómatas, el internet de las cosas, IoT, la fabricación aditiva, la comunicación y la explotación de los datos a tiempo real que obtenemos de dichos procesos.

La I4 está basada en la interconexión de diferentes elementos, máquinas y sistemas llevando así un intercambio de información con el entorno, siendo este el mercado, los clientes, los competidores, etc.

1.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN: LAS REVOLUCIONES INDUSTRIALES

Para comprender exactamente cuál es el objetivo de la industria 4.0 y, sobretodo, su “esencia”, es necesario explicar y poner de manifiesto las distintas transformaciones que la industria ha sufrido, las cuales son la respuesta inmediata a la demanda de mercado: la industria evoluciona y, por ello, debe adaptarse a la demanda aprovechando la tecnología desarrollada.

Pero antes de adentrarnos en profundidad sobre el tema en cuestión, es necesario comprender el impacto que tiene una revolución industrial en la filosofía de trabajo, la evolución de los procesos y el desarrollo y aplicación de la tecnología en nuestra sociedad. A continuación, se describen los hitos más significativos en las distintas revoluciones industriales que han tenido lugar en nuestro tiempo, que aparecen representadas en la Figura 1.1.

La *Primera Revolución Industrial* comenzó a mediados del siglo XVIII con la creación de la máquina de vapor en el Reino Unido. Este hito supuso la mayor transformación social, económica y tecnológica hasta ese momento. Como consecuencia, se empezaron a emplear las máquinas y la energía desde un punto de vista industrial: el fin era producir de forma masiva y en menor tiempo que con los métodos tradicionales (mano de obra fundamentalmente), lo que permitió un aumento considerable de la renta per-cápita.

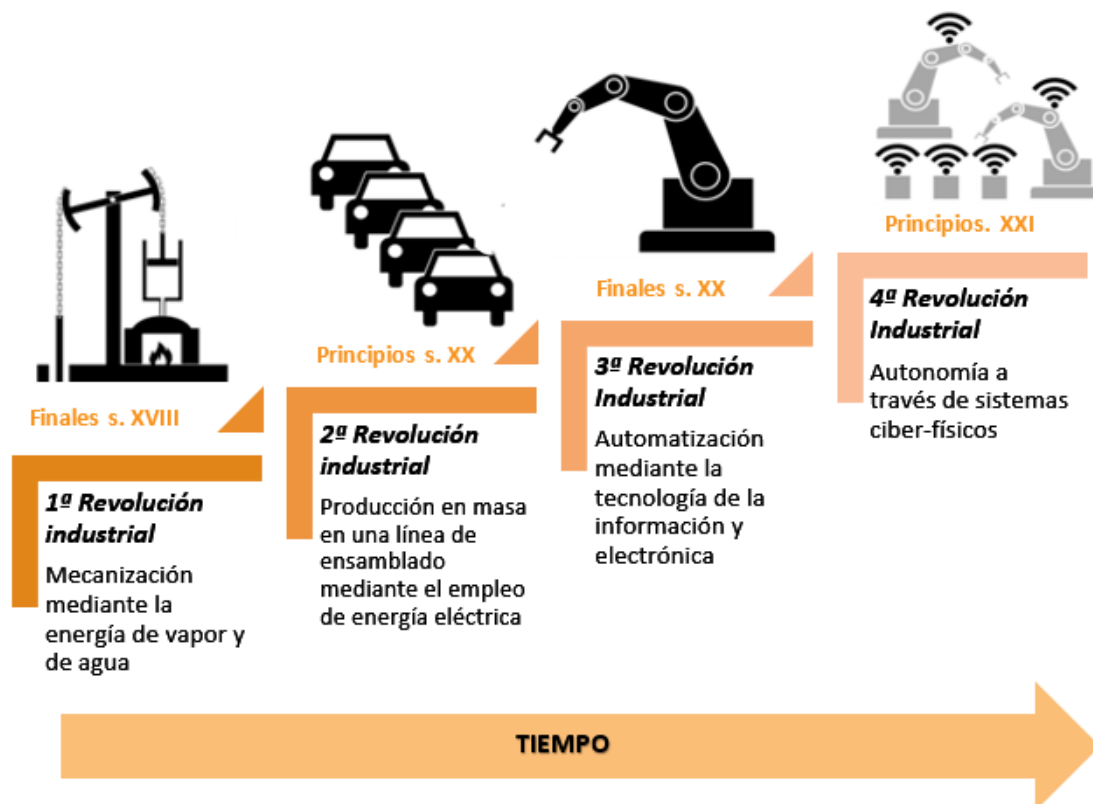


Figura 1.1: Las revoluciones industriales en la historia. Adaptado de (Hock, Goh, Flores, & Yun, 2017).

La *Segunda Revolución industrial* llega a mediados del siglo XIX y principios del siglo XX de la mano de nuevas fuentes de energía como son el gas, el petróleo y, en particular, la electricidad. Aparecen nuevos materiales que se estudiarán, posteriormente, en la producción en cadena. También se produce un cambio en la concepción de los sistemas industriales hasta el momento, y la aparición de nuevos medios de transporte como el avión y el automóvil. En cuanto a los nuevos sistemas de comunicación se encuentran, principalmente, el teléfono y la radio, empleados como elementos y herramientas estratégicas en la Primera Guerra y

Segunda Mundial. Todos estos descubrimientos y nuevos inventos provocan un vuelvo radical en la concepción de la economía, estando cada vez más globalizada.

La *Tercera Revolución Industrial* surge de la necesidad y evolución en el uso de las energías renovables, el uso de las tecnologías de la información y, sobre todo, el uso y explotación de internet. En el ámbito industrial, tuvo repercusión en la automatización de los procesos de fabricación puesto que permitió el desarrollo de la producción en masa a gran escala mediante el empleo de máquinas y mecanismos automatizados.

La *Cuarta Revolución Industrial* (Rüßmann, et al., 2015), como se ha aludido en párrafos anteriores, surge en la feria de Hannover (Alemania, 2013). Esta revolución está basada en las tecnologías habilitadoras como el IoT, Big Data, Clouding Computing, realidad aumentada, fabricación aditiva, ..., que traen consigo avances tecnológicos de un interés vital para el desarrollo socioeconómico y tecnológico. En esta transformación industrial, los sensores, las máquinas, las piezas y los sistemas de información se conectan entre sí. Estos sistemas reciben el nombre de “*sistemas ciber-físicos*”. Mediante el empleo de internet pueden interactuar entre sí, permitiendo obtener datos, análisis de fallos, configurarse y adaptarlos a los cambios.

De esta forma, la industria 4.0 permitirá la recopilación y análisis de datos en máquinas, optimizando así los procesos, tanto en rapidez como en flexibilidad, así como en su eficiencia para producirnos bienes de mayor calidad con un coste menor, por lo que también se mejora la rentabilidad de las empresas. Todo esto traerá consigo un aumento de la productividad en la fabricación, un cambio en la economía, además de un aumento significativo en el crecimiento industrial competitividad de las empresas.

1.2. TECNOLOGÍAS HABILITADORAS DE LA INDUSTRIA 4.0

Como ya se ha comentado en el comienzo de este capítulo, muchos son los nombres con los que se alude o refiere a la Cuarta Revolución Industrial: “industria 4.0”, “Industria conectada 4.0”, “Industria Inteligente”, “Ciber-industria del futuro”, “Fabrica inteligente”, ...

El principio básico y esencial en el que se basa esta cuarta revolución industrial es la aplicación de las nuevas tecnologías en los procesos industriales con el fin de mejorar su eficiencia y productividad. Por tanto, el objetivo de la I4 (Hock, Goh, Flores, & Yun, 2017) es fusionar lo real y lo virtual a través de sistemas ciber-físicos para obtener un máximo de autonomía y eficacia. Esto será la base para permitir un cambio en la concepción de la producción “centralizada” a una producción “descentralizada”.

Se han llevado a cabo muchos estudios alusivos a los componentes básicos y tecnologías de habilitación de la I4; En el artículo “*Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*” (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013) se enumeran los puntos necesarios a tener en consideración a la hora de implantar la I4 (véase Figura 1.2).



Figura 1.2: Tecnologías habilitantes de la I4.

1.2.1. TECNOLOGÍAS DE LA I4

Los *Robots Inteligentes* (en inglés, *Intelligent Robots*) que se desarrollarán en las próximas generaciones evolucionarán hacia una mayor funcionalidad gracias al empleo de otras tecnologías de la I4 a medida que estas se vuelven más autónomas, flexibles y cooperativas, esto es, interactúan más entre sí y en una colaboración mucho más estrecha sobre todo con los humanos.

Un ejemplo de fabricante europeo de robots inteligentes es “Kuka” (Rüßmann, et al., 2015) Los robots que ofrece al mercado interactúan entre sí para poder trabajar de manera conjunta. De la misma forma, el fabricante “ABB” lanzó al mercado un robot de dos brazos, llamado “YuMi”, diseñado específicamente para ensamblar productos. Los dos brazos y la visión mediante un ordenador permiten una interacción segura y el reconocimiento de piezas.

Las *simulaciones automatizadas* (en inglés, *Automated Simulations*) se utilizan para reflejar el mundo físico en un modelo virtual (Rüßmann, et al., 2015). Como ya se utiliza en la mayoría de los procesos de diseño (prototipo de una planta industrial) un entorno que contempla esta funcionalidad es el programa “Witness” empleado para la simulación de procesos industriales. Mediante el empleo de la I4, la simulación futura se aproximará hacia un diseño mucho más inteligente a la hora de automatizar el proceso y se empleará de una manera más extensa.

El *internet de las cosas* (en inglés, *Internet of Things, IoT*) es una tecnología de la industria 4.0 (Su, et al., 2017) que se emplea para relacionar o vincular cualquier objeto (“cosa”) en el mundo físico que tiene una representación virtual en internet. Permite a los dispositivos de campo comunicarse e interactuar entre sí dentro de un entorno I4 y ayuda a descentralizar los análisis de la toma de decisiones, permitiendo así respuestas en tiempo real. Es un hecho

que, en un futuro no muy lejano, todos los objetos terminarán estando interconectados, siendo este el objetivo base del IoT.

En 1999, Kevin Ashton fue quien puso por primera vez sobre el terreno el concepto IoT en el congreso Auto-ID Center del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*, Instituto de Tecnología de Massachusetts), en donde el tema objeto fue la investigación de dispositivos cuya finalidad era la identificación mediante radiofrecuencia (RFID, *Radio Frequency Identification*). A continuación, aparece un breve fragmento del artículo que se publicó en el diario RFID por Ashton (Ashton, 2009) en el que se resume el concepto y fin de lo que actualmente conocemos por IoT:

“Los ordenadores actuales —y, por tanto, internet— son prácticamente dependientes de los seres humanos para recabar información. Una mayoría de los casi 50 petabytes (un petabyte son 1024 terabytes) de datos disponibles en internet fueron inicialmente creados por humanos, a base de teclear, presionar un botón, tomar una imagen digital o escanear un código de barras. Los diagramas convencionales de internet, dejan fuera a los routers más importantes de todos: las personas. El problema es que las personas tienen un tiempo, una atención y una precisión limitados, y no se les da muy bien conseguir información sobre cosas en el mundo real. Y eso es un gran obstáculo. Somos cuerpos físicos, al igual que el medio que nos rodea. No podemos comer bits, ni quemarlos para resguardarnos del frío, ni meterlos en tanques de gas. Las ideas y la información son importantes, pero las cosas cotidianas tienen mucho más valor. Aunque, la tecnología de la información actual es tan dependiente de los datos escritos por personas que nuestros ordenadores saben más sobre ideas que sobre cosas. Si tuviéramos ordenadores que supieran todo lo que tuvieran que saber sobre las “cosas”, mediante el uso de datos que ellos mismos pudieran recoger sin nuestra ayuda, nosotros podríamos monitorizar, contar y localizar todo a nuestro alrededor, de esta manera se reducirían increíblemente gastos, pérdidas y costes. Sabríamos cuándo reemplazar, reparar o recuperar lo que fuera, así como conocer si su funcionamiento estuviera siendo correcto. El internet de las cosas tiene el potencial para cambiar el mundo tal y como hizo la revolución digital hace unas décadas. Tal vez incluso hasta más”

Es inmensa la cantidad de dispositivos interconectados, así como el número de usuarios de internet. Esta cifra crece exponencialmente en el tiempo y, sobre todo, con los desarrollos tecnológicos e informáticos que nos acontecen. Según el “Banco Mundial” de datos (Grupo Banco Mundial, 2019), el porcentaje de los usuarios de internet entre 2009-2017 por país son los siguientes (véase Tabla 1.1)

Tabla 1.1: Evolución del porcentaje de usuarios de internet por país (Grupo Banco Mundial, 2019)

Country	Code	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
China	CHN	28,90	34,3	38,30	42,30	45,80	47,90	50,30	53,2	54,3
Alemania	DEU	79,00	82,00	81,27	82,35	84,17	86,19	87,59	89,65	84,40
España	ESP	62,40	65,80	67,09	69,81	71,64	76,19	78,69	80,56	84,60

Francia	FRA	71,58	77,28	77,82	81,44	81,92	83,75	78,01	79,27	80,5
Rusia	RUS	29,00	43,00	49,00	63,80	67,97	70,52	70,10	73,09	76,01

Si estos datos se representan gráficamente, puede corroborarse lo citado anteriormente: el número de usuarios de internet aumenta (véase Figura 1.3).

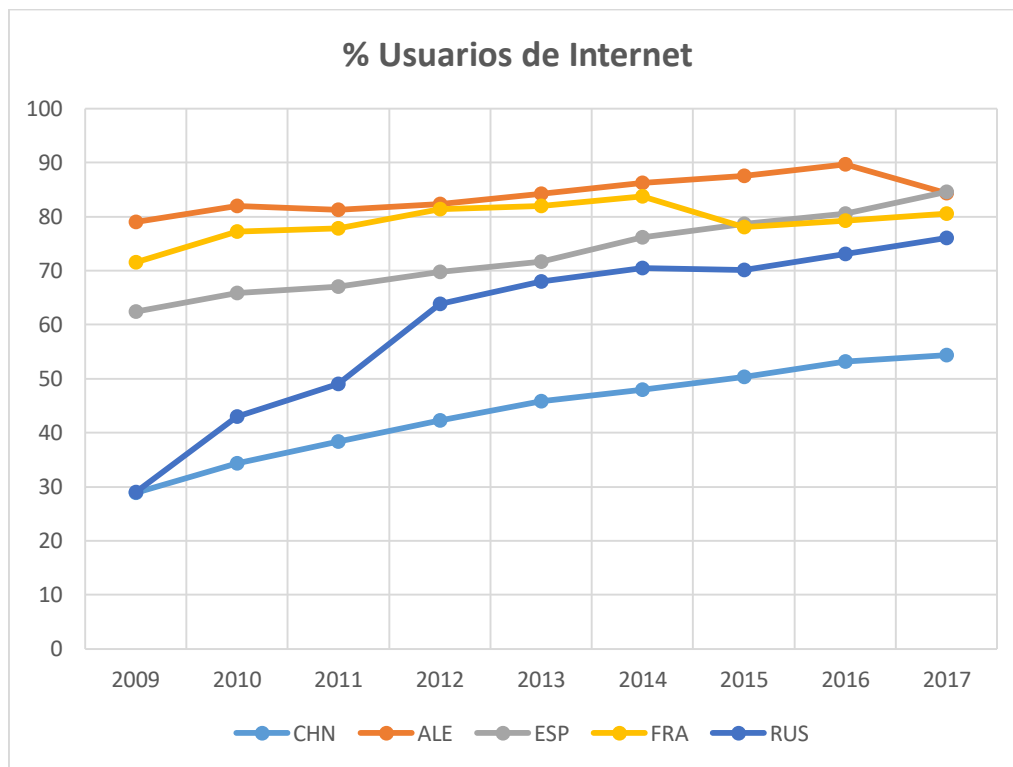


Figura 1.3: Representación gráfica de la evolución del porcentaje de usuarios de internet (Grupo Banco Mundial, 2019)

Un ejemplo de aplicación del IoT en la industria se cita a continuación (Rüßmann, et al., 2015): Bosch Rexroth, un proveedor de sistemas de control y accionamiento equipó una instalación de producción para válvulas con un proceso de producción semiautomatizado y descentralizado. Los productos se identifican mediante códigos de identificación por radiofrecuencia y las estaciones de trabajo “saben” qué pasos de fabricación deben realizarse para cada producto y pueden adaptarse para realizar la operación específica.

La *computación en la nube* (en inglés, *Cloud Computing*) es un conjunto de servicios de las tecnologías de la información (TI) que se proporcionan a través de una red. Permite que los datos de la máquina y las funcionalidades que se implementarán en la nube den lugar a más tecnologías basadas en datos y sistemas de monitorización dentro del entorno I4. Aunque las empresas ya están usando software basado en la nube para algunas aplicaciones empresariales y analíticas, gracias a la industria 4.0, las empresas relacionadas con el mundo

de la producción necesitarán de un mayor intercambio de datos entre los sitios y los límites de la empresa.

Al mismo tiempo, se obtendrá un mejor rendimiento de las tecnologías de nube alcanzado tiempos de reacción de únicamente varios milisegundos. Por tanto, el resultado será el siguiente: los datos y la funcionalidad de la máquina se implementarán cada vez más en la nube, lo que permitirá más servicios basado en datos para los sistemas de producción.

La *fabricación aditiva* (en inglés, *Additive Manufacturing, AM*) se refiere a un grupo de procesos que fabrican objetos mediante la agregación, o “adición”, de materiales. Gracias a la I4, los métodos de AM pueden ser ampliamente utilizados para producir lotes de productos personalizados que ofrecen ventajas de construcción, así como diseños complejos. Los avances que se han producido en las últimas décadas (Lafuente, 2011) hacia una transición digital en todos los ámbitos han permitido procesar grandes cantidades de datos y controlar y dominar los sistemas mecánicos. No obstante, los procesos de fabricación, aunque han sido desarrollados, continúan siendo principalmente tradicionales (por fundición, inyección o arranque de material).

Estos métodos quedan obsoletos, presentan limitaciones tanto de control como físicas: imposibilidad de realizar taladros curvos, colisiones de herramientas con las piezas a fabricar, etc., constituyendo así un obstáculo para desarrollo de nuevos productos con un alto valor añadido. Las tecnologías de AM nos permiten superar estas limitaciones y permitir fabricar por deposición controlada de material, “*capa a capa*” (véase Figura 1.4) hasta conseguir la geometría que se desea.



Figura 1.4: AM “*capa a capa*” (Barroso, 2018)

Son varias y diversas las técnicas de AM (Barroso, 2018), pero las más empleadas son la *estereolitografía* y el *sinterizado selectivo láser*. Ambas permiten obtener piezas “*imprimiéndolas*” en una superficie. También pueden aludirse a estas técnicas como *Additive Layer Manufacturing –ALM* (fabricación aditiva por capas) o *e-manufacturing* (fabricación electrónica).

Los procesos de fabricación mediante la AM permiten integrar (Lafuente, 2011) distintas geometrías y materiales en un mismo objeto de tal forma que se consigan fabricar

simultáneamente varios productos, como, por ejemplo, un eje y su cojinete, es decir, un mecanismo totalmente integrado en la pieza. Cada vez son más los productos con formas irregulares, o esbeltos que obligan a utilizar estas técnicas más sofisticadas, puesto que los métodos convencionales de fabricación no han sido capaces de fabricarlos, así como la *personalización* de estos, de tal forma que el producto a fabricar no penalice el coste independientemente si hay que fabricar un gran volumen de piezas idénticas o algunas de las cuales distintas, lo que permite desarrollar productos con un alto valor añadido.

La *realidad aumentada* (en inglés, *Augmented Reality, AR*) convierte un entorno real en una interfaz digital colocando objetos virtuales en el mundo real. Se emplea para mejorar la toma de decisiones y los procedimientos de trabajo a través de dispositivos. También puede ser útil para crear un flujo de trabajo visual digitalizado para ayudar en la capacitación de los trabajadores. En este entorno virtual y digitalizado, los operadores pueden aprender a interactuar con las máquinas haciendo un clic en una representación cibernética.

Los sistemas basados en realidad aumentada admiten una variedad de servicios, como, por ejemplo, la selección de piezas en un almacén y el envío de instrucciones de reparación a través de dispositivos móviles. Actualmente, estos sistemas se encuentran en vías de desarrollo, aunque en un futuro las grandes compañías harán uso mucho más amplio de la realidad aumentada para proporcionar a los trabajadores información en tiempo real y, como se comentó en párrafos anteriores, mejorar la toma de decisiones y los procedimientos de trabajo.

El *análisis Big Data* (Rüßmann, et al., 2015) se utiliza para describir conjuntos de datos muy grandes o complejos y puede ser utilizado dentro de I4 para apoyar la toma de decisiones en tiempo real a través de la recopilación y evaluación de datos de diversas fuentes dentro y fuera de la organización. Esto quiere decir que el análisis de este conjunto de datos cuyo volumen es importante, permitirá identificar patrones e interdependencias, analizar procesos, incluso podría predecirnos comportamiento o realizar análisis de tendencias que nos preverían escenarios futuros.

La finalidad de todo este análisis de datos no es otra que mejorar la eficiencia de nuestros procesos, dotarlos de nuevas oportunidades, y permitir a la empresa y a los servicios conocer de una manera más nítida y profunda cuáles son las preferencias del cliente, ya que el objetivo final es conocer y satisfacer las exigencias de nuestros clientes.

En definitiva, las tecnologías habilitadoras de la I4 deben aplicarse y cooperar entre sí en la industria para que las empresas obtengan su máximo rendimiento, sean competitivas y eficientes en los mercados, es decir, formar una fábrica inteligente o "*Smart Factory*".

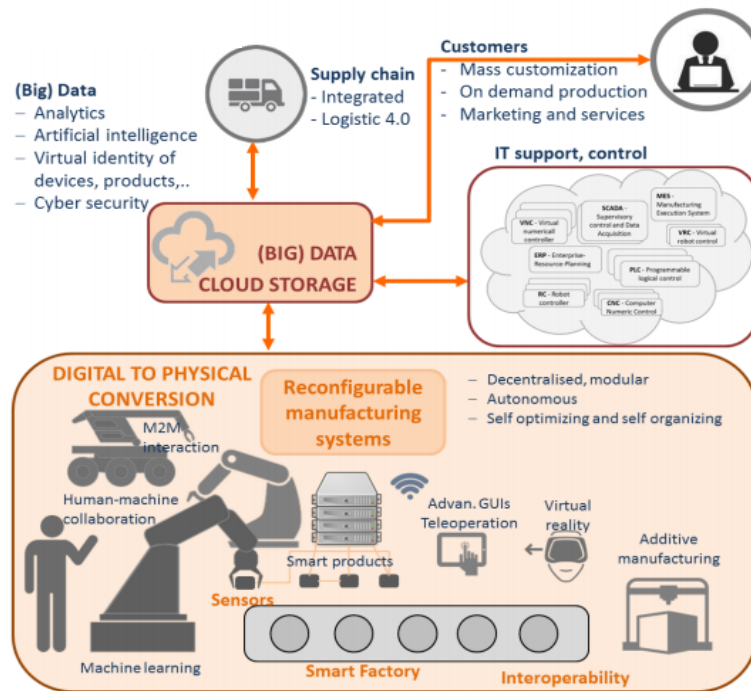


Figura 1.5: Smart Factory (Rojko, 2017)

1.3. EL IMPACTO DE LA INDUSTRIA 4.0

La carrera para adoptar elementos de la industria 4.0 ya ha comenzado (Hock, Goh, Flores, & Yun, 2017) y las empresas de Europa, EE. UU y Asia han adquirido un protagonismo muy relevante a la hora de emplear en sus procesos las tecnologías de la I4. Desde su inicio, la I4 ha ganado un enorme interés en todo el mundo, especialmente con muchos fabricantes relevantes en el mundo industrial y tecnológico.

Así, las naciones invierten fuertemente para capitalizar esta nueva tendencia y estimular una mayor producción manufacturera. A continuación, se citan los programas llevados a cabo por los distintos países en I4 (Pardo, 2015):

En Europa, el gobierno alemán invirtió 200 millones de euros para impulsar la investigación de la I4 en todo el gobierno, mundo académico y empresarial como parte de su iniciativa de “*High-Tech Strategy 2020*”.

El gobierno de Reino Unido también se comprometió a financiar 6 millones de libras para desarrollar conjuntamente tecnología de fabricación avanzada (Hock, Goh, Flores, & Yun, 2017):

En Estados Unidos se inició la conocida como “*Smart Manufacturing Leadership Coalition*” donde se realizaron inversiones de carácter público y privado de 140 millones de dólares para desarrollar nuevas soluciones tecnológicas en fabricación avanzada.

En Asia, China inició el proyecto “*Made in China 2025*” que es un programa gubernamental centrado en la automatización y sistemas cibernéticos.

Corea del Sur ha iniciado “*Manufacturing Innovation 3.0*” donde el gobierno invirtió 1.650 millones de dólares en robótica; su objetivo es construir 10.000 fábricas inteligentes para 2020 y contribuir a su “*ecosistema de fabricación inteligente*”.

En definitiva, los países desarrollados apuestan por una industria tecnológica y digitalizada; por ello, compiten para tener y desarrollar la tecnología más sofisticada y avanzada. La Figura 1.6, que se muestra a continuación, resume las iniciativas mundiales hacia la industria 4.0:

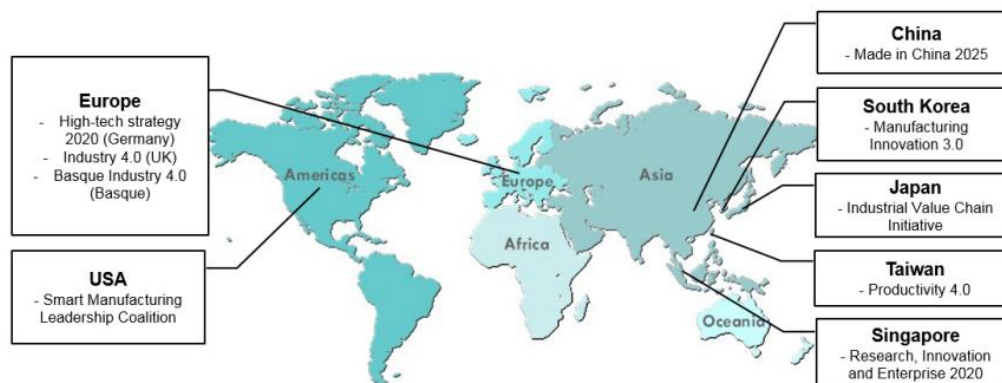


Figura 1.6: Iniciativas mundiales hacia la I4 (Hock, Goh, Flores, & Yun, 2017)

1.3.1. NUEVOS RETOS Y DESAFÍOS DE LA I4

Como ya hemos comentado en los apartados anteriores, cada vez son más los países y las empresas que están adoptando tecnologías habilitadoras de la I4 en sus procesos y en el sector industrial en general. Como resultado, se están obteniendo notables mejoras en términos de costes y productividad, aunque las mayores ventajas se obtendrán cuando los fabricantes comiencen a centrar sus capacidades y esfuerzos en mejorar el desempeño general de la empresa, tal y como afirma Miguel Ángel Castelló (2017), responsable del Sector Industrial y Químico en KPMG España.

La adopción de la I4 en toda la empresa representará un cambio significativo para la industria tradicional, por lo que es fundamental desarrollar las capacidades de los empleados y los controles adecuados para respaldar el éxito de esta revolución industrial. Además, una ventaja inherente a este cambio impulsado en la industria es la obtención de beneficios inteligentes, es decir, “*la integración de productos y procesos inteligentes impulsará beneficios inteligentes*” (Castelló, 2017). En la actualidad, son muchos los fabricantes que están adoptando I4 en sus procesos, pero pocos lo que emplean sus capacidades para impulsar una mayor integración entre productos y procesos inteligentes.

Por último, la I4 puede ayudar a los fabricantes a crear una nueva red de valor: la integración de la I4 en toda la organización generará un valor, que será mayor cuando los proveedores y

los actores de la cadena también se integren en el entorno de la I4. Esto permitirá a las organizaciones dotarlas de una mejor capacidad de respuesta y flexibilidad en la producción.

Por todo lo citado anteriormente, parece lógico que nadie quiera quedarse atrás en la carrera por desarrollar la *fábrica del futuro* o *fábrica inteligente*. Por ello, el avance en el sector manufacturero nunca había sido tan fuerte como acontece en nuestros días. Los analistas sugieren que el mercado de la I4 será masivo (Castelló, 2017). Si hablamos en cifras, KPMG expone que el mercado del IoT tendrá un valor de casi 3,7 billones de dólares para el 2020. Los estudios realizados por Morgan Stanley apuntan que el mercado de la seguridad cibernética (necesario y clave dentro de la I4) valdrá en torno a los 183 mil millones de dólares y que el valor del mercado de la realidad aumentada será de 162 mil millones de dólares.

En consecuencia, los mercados de la I4 ascenderán a un valor total para el 2020 de 4,4 trillones de dólares. Pero para conseguir esto, ya que solo son estimaciones, los líderes de las empresas deberán estar dispuestos a invertir grandes cantidades de dinero para garantizar una exitosa implantación de la I4 en sus procesos.

Parece obvio remarcar que los fabricantes ya están haciendo sus inversiones en la implantación de las capacidades y tecnologías de la I4. Pero curiosamente, en el benchmarking realizado por KPMG (Gates & Bremicker, 2017), se pone de manifiesto que la mayoría de las organizaciones han demostrado un nivel bajo-medio de madurez en las áreas claves como son la demanda impulsada por la cadena de suministro, comunicaciones máquina a máquina (M2M, *machine to machine*) y en el *digital twinning*. Sin embargo, en las áreas de las tecnologías habilitadoras como son la nube de datos, robótica, Big Data, seguridad cibernética y el IoT, las organizaciones presentan un mejor nivel.

En la Figura 1.7 se muestran las seis áreas (Gates & Bremicker, 2017) que construyen la base de los principios de la I4 y que toda organización debe implantar para obtener un éxito seguro en la adopción de la I4 en sus procesos y productos. Muchas son las organizaciones que implantan tecnologías de la industria 4.0 y están empezando a conseguir una mejora notable en su coste y productividad; sin embargo, los mayores beneficios se obtendrán cuando los fabricantes empiecen a enfocar sus capacidades I4 en mejorar su actuación en la organización de manera general.

Por ello, es vital que los ejecutivos y directivos de las organizaciones no solo comprendan la importancia de la transformación digital, sino que comiencen a tomar decisiones que permitan avanzar en el proceso de la digitalización industrial. La concienciación es necesaria e imprescindible en las organizaciones para conseguir una implantación robusta de la digitalización en el modelo de negocio de las organizaciones.



Figura 1.7: Principales dimensiones que construyen las bases de la I4 (Gates & Bremicker, 2017)

1.3.2. LOS RETOS DE LA I4 EN ESPAÑA

Muchos son los desafíos a los que la industria española se enfrenta en el siglo XXI: desde la nueva reorganización de la globalización y el libre mercado, hasta la profunda transformación de nuestro sistema económico, dotando de mayor importancia a las energías renovables. Numerosos son los retos que vienen de la mano de la industria 4.0, pero si se analiza detenidamente el acelerado progreso y avance tecnológico en el que estamos inmersos, según Mario Buisán y Fernando Valdés (Director General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa y Subdirector General de Digitalización de la Industria y Entornos Colaborativos, respectivamente), son cuatro los retos principales que destacan en el proceso de la transformación digital (Buisán & Valdés, 2017).

En primer lugar, se encuentra *el cambio en la cultura empresarial de las organizaciones industriales* que debe acompañar a la transformación digital. La cultura de nuestra organización es, sin duda, uno de los elementos determinantes en los cambios y progresos de la misma. Muchos de los expertos en el área afirman que la cultura de nuestras empresas es el principal obstáculo para la adopción de las nuevas tecnologías digitales. Según el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, el 55% de las compañías españolas invirtieron en 2017 en digitalización. Solo un 10% de las mismas afirman tener una estrategia digital consolidada, a pesar de que el 100% de ellas creen firmemente que la transformación digital ayudará y aumentará su productividad.

El segundo reto reside en *la formación y capacitación en competencias digitales*. Muchos son los que se plantean la siguiente cuestión: *¿la digitalización terminará con numerosos puestos de trabajo?* La respuesta no es fácil, como es de esperar. Si retomamos el estudio realizado por el grupo Boston Consulting Group que hizo en Alemania siendo éste reconocido como el país más industrializado de la Unión Europea, determinó y estimó el impacto en el empleo tras la nueva conceptualización de la industrial.

Los resultados mostraron que, tras la implantación consolidada de la I4, el empleo aumentaría, pero para ello será necesario dotar de una formación más cualificada a los obreros y empleados, por lo que será necesario una mayor inversión de capital en esta área e inevitablemente una mano de obra más cualificada. En contraposición, el foro económico mundial de Davos (Buisán & Valdés, 2017) en 2016, anunció que el impacto neto en el empleo de la implantación de la I4 sería de una reducción de unos 7.100.000 empleados, de los cuales, la mayoría corresponden a trabajos repetitivos y administrativos.

Son numerosas las dudas acerca de los efectos que tendrá la I4 en nuestro país, si bien es cierto que será necesario un cambio notable en los perfiles y tipos de trabajo como son concebidos en la actualidad, creando así nuevos puestos de trabajo, nuevos oficios y profesiones. En el futuro, muchos estudiantes que se encuentran en etapas tempranas del ciclo educativo terminarán desempeñando tareas que actualmente no están desarrolladas o ni si quiera existen.

Por lo tanto, se espera que la mano de obra a nivel mundial experimente un profundo cambio en cuanto a su composición y redistribución entre familias de trabajo, llegando a reducirse notablemente aquellos puestos de trabajo de tipo administrativo. Por el contrario, para el personal altamente cualificado, la cuarta revolución industrial supone y supondrá una gran oportunidad de desarrollo y capacitación; estos tendrán una alta adaptación, flexibilidad y aprendizaje continuó, y estarán dotados de perfiles multidisciplinares del ámbito de la ingeniería, ciencia, matemática y tecnología.

Dicho esto, el perfil del trabajador del futuro (Buisán & Valdés, 2017) tendrá las competencias necesarias para desempeñar el trabajo en equipo, gestionar el tiempo, ser capaz de hacer frente a la resolución de problemas, desempeñar el razonamiento analítico y la capacidad de buscar, filtrar y priorizar información que deberá compartir para tomar las decisiones permitentes en equipo y de manera conjunta.

El tercer reto consiste en *el desarrollo de los entornos colaborativos*. Para ello, es necesario impulsar la creación de plataformas y entornos colaborativos que permitan crear una sinergia entre la industria, el sector tecnológico y el investigador, que es vital para garantizar una continua mejora y desarrollo de las tecnologías y, por tanto, de la industria. Un entorno colaborativo permite compartir experiencias, puntos de vista, información y plantear nuevas problemáticas que vayan surgiendo y, por tanto, que habrá que resolver realizando nuevos planteamientos y tomando siempre las decisiones de manera conjunta.

Estos entornos deben responder a las necesidades que presenta la industria y favorecer la implantación práctica de las tecnologías digitales, es decir, ser capaces de adaptarlas a la industria. Como ya se ha comentado en párrafos anteriores, el proceso de transformación digital e implantación de la I4 no puede abordarse de manera solitaria sin contar con la ayuda de expertos y personal colaborativo, independientemente del tamaño de la organización y de los recursos que disponga, sino que es necesario compartir las experiencias y colaborar a lo largo de toda la cadena de valor.

Existen algunas áreas de la organización en las que se requiera una mayor colaboración que en otras. Pero, en general, si somos capaces de comprender la colaboración con otros agentes de la cadena de valor, probablemente se conseguirán nuevas oportunidades de negocio que incrementen el valor añadido de la oferta industrial.

Por último, encontramos *el apoyo a todas las empresas*, especialmente a las PYME (Buisán & Valdés, 2017) en el proceso de transformación digital. En España, el 98% de nuestra industria está representada por pequeñas y medianas empresas, que son aquellas que a menudo presentan problemas de productividad, rentabilidad e integración en la implantación de nuevos procesos de fabricación. La I4 supone para todas estas empresas un gran reto en cuanto a su integración en el modelo de gestión y organización de la empresa.

Desde las Administraciones, se intenta evitar que las empresas españolas se queden a medias en el proceso de transformación digital, garantizando que todas ellas, independientemente de su tamaño, ubicación o sector, lleven a cabo dicho proceso de manera exitosa. Por ello, la Secretaria General de Industria y de la PYME ha puesto en marcha un programa con una inversión que supera los 70.000.000 euros para la implantación de soluciones necesarias en la digitalización de las empresas, con el fin de apoyar a las empresas pequeñas para facilitar en la medida de lo posible las inversiones fruto de la implantación de tecnología 4.0 en sus procesos (Buisán & Valdés, 2017).

En definitiva, actualmente las organizaciones no han conseguido un éxito en la I4 principalmente: por el desembolso económico que supone la implantación de las tecnologías; el cambio de mentalidad de una industria tradicional a una inteligente e interconectada por parte de los ejecutivos y trabajadores de las organizaciones; y los directivos de las organizaciones no disponen del talento y conocimiento necesario para obtener el máximo rendimiento de la implantación de la I4 en sus procesos ni tampoco son capaces de desarrollar un modelo de negocio robusto.

Por ello, las organizaciones deberán centrar sus esfuerzos en estos desafíos, ya que la digitalización se ha constituido en la actualidad como un factor determinante de la competitividad de la industria y en el desarrollo en el sector industrial en los próximos años. La empresa deberá determinar y definir su plan estratégico en el nuevo contexto industrial en el que se desarrollará su desempeño y tomará las decisiones pertinentes, con el apoyo de las administraciones públicas para garantizar una transformación digital completa.

1.3.3. LOS EFECTOS DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA INDUSTRIA

Como ya se ha expuesto en párrafos anteriores, la adopción hacia el nuevo modelo industrial debe considerar la digitalización como una oportunidad para mejorar y crear nuevos procesos, productos y modelos de negocio. A continuación, describimos algunos de los efectos derivados de esta transformación (Buisán & Valdés, 2017).

La posibilidad de realizar un mantenimiento predictivo de los equipos industriales permite reducir la frecuencia e impacto de las averías o fallos que pueden producirse durante la fabricación de productos

Una mejora significativa en la seguridad de las organizaciones, reduciendo la frecuencia y gravedad de los accidentes laborales, y con ello reducir el absentismo laboral. En definitiva, se pretende llevar a cabo nuevas técnicas de prevención laboral desarrolladas a partir de los nuevos riesgos resultado del auge de las tecnologías de la I4 y de los nuevos modelos de negocios.

Otro efecto es el aumento de la hiperconectividad. “La *fábrica está conectada con el cliente y el cliente con la fábrica*” (Buisán & Valdés, 2017), permitiéndole así tener acceso inmediato a la oferta de cualquier producto, en cualquier momento y lugar.

Las consecuencias derivadas de la cuarta revolución industrial impactan en todas las dimensiones y áreas de la organización industrial: en el proceso, tipo de producto y modelo de negocio (Buisán & Valdés, 2017).

En primer lugar, se encuentra *el proceso*, de tal forma que la transformación digital en el mismo se consiga gracias a la aplicación e incorporación de las tecnologías 4.0 para conseguir que éste sea más fiable y eficiente. Un ejemplo de un proceso adaptado a la I4 sería la impresión 3D, mediante la cual es posible la fabricación de prototipos mucho más rápidamente y agiliza el proceso de diseño. La robótica, también se convierte en un ejemplo de esta adaptación de la I4, permitiendo así flexibilizar los procesos para que estos se adapten mejor a los requisitos de los clientes. Por lo tanto, la aplicación de tecnologías habilitadoras de la I4, garantiza una mayor eficiencia, flexibilidad y una reducción significativa en los plazos de entrega, acortando el tiempo de espera de nuestros clientes para obtener la compra realizada.

En segundo lugar, el *tipo de producto* industrial: la digitalización de los productos en la industrial puede suponer la incorporación de tecnología a los ya existentes, mejorando por un lado las funcionalidades o dando lugar a nuevos productos. Un ejemplo que pone de manifiesto lo citado es el automóvil y su evolución hacia la integración de la electrónica junto con los componentes digitales. Sin embargo, algunos empleos y profesiones que no serán capaces de adaptarse ni llevar a cabo la transformación digital se ven amenazados por la implantación de la I4. Parece obvio resaltar que los cambios en el mundo laboral son cada vez más rápidos debido a los avances tecnológicos que se suceden. Con la entrada de la digitalización y robotización se han generado varias dudas acerca del futuro del empleo.

Finalmente, la digitalización afecta al *modelo de negocio* de la organización en cuestión: la industria 4.0 y sus tecnologías hacen posible la aparición de nuevos modelos de negocio, al cambiar el modo en el que se pone en disposición el producto o servicio a los clientes, por ejemplo, la incorporación de sensores a los automóviles habilita un nuevo modelo de negocio que consiste en alquilar automóviles por horas.

1.3.4. BENEFICIOS DE LA I4 EN LA INDUSTRIA ESPAÑOLA

El nuevo paradigma que presenta la cuarta revolución industrial se presenta como una transformación en la nueva concepción de la industria y una nueva manera de crear valor y rentabilidad. Según el diario digital Europa Press (Europa Press, 2018), *“la digitalización se ha convertido en el motor de crecimiento de la economía española”* y desde el año 2015 es responsable de hasta un 30% del crecimiento del país, según un informe elaborado por Minsait (compañía de Indra). Además, subraya que este rendimiento será máximo cuando el *“capital tradicional sea remplazado por el tecnológico y el capital humano siga optimizándose y se mantenga la inversión en I+D”*.

La integración de las nuevas tecnologías digitales está generando incrementos de productividad entre el 10 y el 20% (GTG ingenieros, 2018) en todos los sectores industriales. De hecho, se estima que el desarrollo de las fábricas inteligentes tenga el potencial de sumar más de 500.000 millones de dólares anualmente a la economía global en los próximos cinco años, según publica el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Pero los efectos de la digitalización no solo se pueden evaluar en términos macroeconómicos. A continuación, se enumeran los cinco beneficios principales desencadenados por la implantación de la digitalización en nuestra industria y sociedad (GTG ingenieros, 2018):

La *conectividad e interacción* mediante el empleo del IoT que es capaz de conectar con miles de dispositivos a la vez y en tiempo real, como, por ejemplo, conectar edificios o maquinarias a internet para así transformarlos en objetos *“inteligentes”* capaces de comunicarse con las personas.

La *obtención y almacenamiento de datos*. La hiperconectividad que genera el IoT tiene como consecuencia la generación de millones de datos. Las empresas necesitan disponer de toda la información posible para conocer a sus clientes: por tanto, la información se convierte en una herramienta vital y necesaria para generar valor y ser competitivos en el mercado. Pero no se trata solo de almacenar datos, sino de tratarlos y procesarlos para obtener información que nos ayude en la toma de decisiones o ejecutar acciones de manera automatizadas. Por ello, es necesario crear sistemas de monitorización de datos que permitan poder interpretarlos de manera correcta. Algunos ejemplos en los que se aplican este tipo de sistemas son en el mantenimiento preventivo, la prevención, la relación con los clientes, marketing, logística, etc.

En la *productividad* ya que gracias a la recopilación y posterior tratamiento de los datos podemos identificar en nuestros procesos patrones o tendencias erróneas y anticiparnos a

posibles averías o degradaciones de nuestros procesos, de tal forma que seamos capaces de obtener respuestas rápidas y eficientes: ser más fiables y predictivos. Por ello, la tecnología ayuda a reducir la producción defectuosa o no conforme y los tiempos ociosos en los que no hay fabricación y, con ello, mejorar la productividad y conseguir una reducción en los costes de fabricación.

En la *eficiencia* de las organizaciones, puesto que las fábricas inteligentes permiten una gestión del mantenimiento predictivo con una mayor disponibilidad de maquinaria y reducción de costes, respetando siempre el medio ambiente y generando un ahorro de energía controlando el entorno de trabajo gracias a la *domotización* de las instalaciones. Esto quiere decir, desarrollar sistemas fiables, inteligentes y de instalación y manejo relativamente sencillos, encargados de la gestión y control del gasto energético, la seguridad y el confort.

La *seguridad y ciberseguridad*. Si bien es cierto que el hecho de que cada vez sean más los usuarios que se conectan a la red y más aún los datos e información que se comparten en la misma, parece asustar y preocupar a la hora de exponer ciertas informaciones en un entorno en el que puede estar expuesto a un “*ciber-ataque*”. Por ello, se deben desarrollar sistemas que hagan frente a este tipo de amenazas. Pero la seguridad desde el punto de vista seguridad 4.0 en el entorno laboral supone una ventaja sustancial, ya que incorporando la automatización y digitalización en los equipos industriales se reducen los riesgos, incluso eliminarlos, en el entorno laboral.

2. INTRODUCCIÓN A LA LOGÍSTICA

La logística se ha convertido en una herramienta estratégica de gestión gracias a la globalización y la alta competitividad de los mercados. Por esta razón, es necesario que los avances tecnológicos que nos acontecen permitan evolucionar el concepto logístico que se está aplicando hasta el momento

En este capítulo, hablaremos sobre la logística como concepto, cuál es su origen y cómo ha evolucionado a lo largo del tiempo. Además, nos detendremos para explicar el funcionamiento de una cadena de suministro: cuáles son sus etapas principales y los flujos de materias e información que tienen lugar. Posteriormente, expondremos algunas de las variantes de la logística que acontecen en la actualidad: la logística inversa o reversa concebida como la logística verde.

En última instancia, se hablará del impacto de la logística en el mundo, así como la aplicación de las tecnologías de la información y comunicación en este campo. También abordaremos cómo la logística ha evolucionado para adaptarse a nuevas metodologías y tecnologías desarrolladas para dar servicio a nuestros clientes y permitir a las organizaciones estar a la altura en la lucha por la competitividad.

2.1. INTRODUCCIÓN

El enfoque logístico de las organizaciones y empresas (Álvarez, 2014) está suponiendo una exigencia en el entorno que nos rodea, declarándose, así como un factor que permite la diferenciación competitiva entre las organizaciones. La logística es cada vez más reconocida como una herramienta estratégica de gestión a nivel internacional, lo cual es posible gracias a la globalización de los mercados y la alta competitividad entre los diferentes sectores. En la década de los años cincuenta, sucedieron numerosos avances que permitieron dar un gran paso en la evolución y conceptualización de la logística (Young, Long, & Taylor, 2005). Muchas fueron las investigaciones centradas en esta área en diferentes aplicaciones.

Debido a la tendencia de la nacionalización y la globalización en las últimas décadas, la importancia de la gestión logística ha ido creciendo en determinados campos. Para las industrias, la logística permite optimizar los procesos de producción y distribución existentes basados en los recursos, empleando técnicas de gestión que promuevan la eficiencia y la competitividad de las empresas. Como discutiremos a lo largo de este capítulo, y más detenidamente en el apartado “2.3.3. Cadena de suministro”, el elemento clave en una cadena logística es el sistema de transporte, de tal forma que permite interconectar aquellas actividades que se encuentran separadas entre sí.

Para que tengamos una noción del coste que supone el transporte en todo el sistema de gestión logístico, éste suele ser un tercio de la cantidad en los costes logísticos por lo que tienen un impacto notable en los sistemas logísticos. Otra característica importante del transporte es que es requerido en todos los procedimientos de producción, desde la fabricación hasta la entrega al consumidor final, así como devoluciones. Por ello, las empresas concentran sus esfuerzos en disminuir costes de transporte y optimizar las rutas que realizan para entregar los productos.

Los nuevos productos introducidos en el mercado (Ballesteros & Ballesteros, 2008), cuyos ciclos de vida son muy cortos, las exigencias de nuestros clientes y la fuerte competitividad entre los mercados, como ya se ha aludido anteriormente, son los diferentes escenarios que han propiciado una evolución continua de la función logística, así como en su dirección y administración. No obstante, las evoluciones que tienen lugar en el campo de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) y las tecnologías del transporte también contribuyen directamente en la mejora de nuestros sistemas logísticos.

2.2. DEFINICIÓN

La logística (en inglés, *logistics*) se define como “el conjunto de los medios, métodos e infraestructuras que permiten garantizar el almacenamiento, transporte y/o entrega de bienes y servicios al cliente, desde el lugar en el cual se obtienen las materias primas, así como donde se producen” (Sevilla, 2012).

Pero si queremos tener una acepción más global de este término, Martin Christopher, autor del libro “*Logistics and Supply Chain Management*” (Christopher, 2011), lo define de la siguiente manera: “*La logística es el proceso de manejar estratégicamente la adquisición, el movimiento y almacenamiento de materiales partes e inventario acabado (producto terminado) a través de la organización y sus canales de marketing, de forma que la rentabilidad actual y la futura sean maximizadas a través de un procesamiento de pedidos eficiente en costes*”

Aquí no solo se habla de garantizar al cliente la entrega de sus pedidos, sino, que las organizaciones que se encargan de este cometido deben también operar obteniendo la máxima rentabilidad de sus procesos logísticos, siempre manteniendo la eficiencia en costes. Esto quiere decir que el proceso de la logística no solo tiene en cuenta el transporte del bien y la entrega al cliente (cumplir plazos), sino que debe existir un equilibrio con los costes ocasionados a la organización de dichas tareas.

Según el profesor J. Coyle en su libro “*Supply Chain Management: A logistics perspective*” (Coyle, Langley, Novack, & Gibson, 2012), la logística se define como los siete “*rights*”, es decir, las siete tareas que hay que realizar de forma correcta: “*La logística trata de conseguir el*

producto correcto, para el cliente correcto, en la cantidad correcta, en la condición correcta, en el lugar correcto, en el tiempo correcto y al coste correcto”

A continuación, se va a explicar con más detalle esta última definición (Coyle *et al.*, 2012). Cumplir con la disponibilidad del *producto correcto* es vital ya que los proveedores tienen que proporcionarnos las materias primas requeridas para la fabricación de los productos, así como la prestación de servicios.

La *cantidad correcta*: se debe garantizar un uso eficiente de los recursos para mantener los inventarios en un nivel adecuado. Esto nos permite minimizar la pérdida y devaluación de las materias primas y productos terminados.

Las *condiciones* en las que se transportan y almacén las materias deben ser correctas y prestar especial atención aquellos materiales cuya composición sea frágil. Estos deben tener un embalaje adecuado garantizando el estado del producto para nuestros clientes.

El *lugar correcto*: “*un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio*” lo cual, nos permitirá optimizar el espacio disponible de nuestros almacenes logrando una mejora en la eficiencia.

El *tiempo correcto*: el tiempo supone dinero, esto quiere decir que una pérdida en tiempo se traduce en un aumento del coste. El tiempo es uno de nuestros recursos más valiosos, por lo que es necesario optimizar nuestros procesos y garantizar que el producto esté en el tiempo establecido y en el lugar determinado (cumplir los plazos en la entrega de productos al cliente). La metodología y filosofía de trabajo *Just inTime* (justo a tiempo) se basa en lo descrito anteriormente, y su aplicación en las empresas ha supuesto un avance y éxito en la eficiencia y optimización de costes.

Para el *cliente correcto*: el objetivo común de toda organización es el cliente, satisfacer sus necesidades y cumplir con sus expectativas. No tendrán ningún valor nuestros esfuerzos si no están focalizados en nuestro cliente. Los procesos deben gestionarse y organizarse para que el cliente pueda disponer del producto demandado en el lugar y tiempo correctos. Por ello, el modelo de negocio en el que una entidad debe basarse es aquel que garantice la satisfacción del cliente.

Y, por último, con el *coste correcto*: para que una empresa sea competitiva (Coyle *et al.*, 2012), no solo tiene que cumplir con el plazo de las entregas al cliente, sino también debe ser eficiente en costes, que supondrá un factor crítico para la organización. Se deben optimizar los costes, pero sin sacrificar la calidad y condiciones de producto. Las soluciones que nos oferten ventajas más competitivas cumpliendo estas condiciones serán las que deberá tomar la organización.

En definitiva, los siete principios citados anteriormente suponen la base de la logística empresarial independientemente del tipo que pueda ser: de aprovisionamiento, de distribución, de almacenamiento, etc.

2.3. ORIGEN Y EVOLUCIÓN

La palabra logística se remonta (Quijada, 2012) a la época de la Antigua Grecia y el Imperio Romano s. VII a.C., en cuyas civilizaciones el término “*Logistikos*” significaba “*diestro en el cálculo*” o “*saber calcular*” y se atribuía a aquellas personas encargadas de determinar las cantidades de pertrechos que se necesitarían para avanzar de acuerdo a los planos. En el s. V a.C., los griegos empleaban el término logística para referirse al “*hacer algo lógico*”. En Roma, el término “*Logistikas*” se acuñaba a los oficiales militares del ejército encargados de suministrar al mismo. Es aquí cuando ya se le comienza a dotar de la importancia y reconocimiento a la gestión y distribución de bienes y servicios.

Cabe destacar la importancia del Imperio romano (Sevilla, 2012) en la construcción y creación de carreteras y rutas, acueductos y canales que conectaban al imperio: una auténtica red de distribución y transporte. Pero no solo se le otorga importancia a la función de abastecimiento de bienes, ya los romanos reconocieron la importancia de encontrar mejores fuentes de aprovisionamiento, lo que en la actualidad se denomina proveedores, y entregar las unidades demandadas. Todo esto permitió situar a la logística en un nivel táctico, operativo y estratégico dentro del campo de la milicia.

En sus orígenes (Coyle *et al.*, 2012), la logística implicaba tener el producto correcto, el lugar correcto, en el tiempo correcto y con el menos coste posible añadido. En la actualidad, este concepto se ha ampliado. Tal es así, que la logística es concebida como un conjunto de actividades que permiten definir un proceso tan complejo como así sea el número de variables a tener en cuenta en el mismo. A continuación, se expone un breve resumen de las características más importantes de la evolución de la logística en las últimas décadas (Quijada, 2012).

Entre 1956 y 1965, se conceptualiza la logística, es decir, se lleva a cabo un desarrollo del análisis de costes en las operaciones logísticas, así como se le otorga un enfoque más estratégico (se analizan las dependencias e interrelaciones del sistema logístico). Se prioriza el servicio al consumidor, pero siendo este al mínimo coste logístico posible, y los expertos se focalizan en optimizar y mejorar los canales de distribución del sistema logístico. En definitiva, este periodo se caracteriza por el *outsourcing* (subcontratación) de las organizaciones no especializadas en logística para contratar a empresas que sí lo estuviesen.

Entre 1966 y 1970, las organizaciones requieren disponer de la cantidad exacta, en el momento exacto, en el tiempo exacto. Esto quiere decir que se comienza a manifestar y poner en práctica el concepto *Just In Time*, fabricación justo a tiempo. Esto permitió obtener el control preciso de la cantidad de materias primas necesarias para la fabricación de los productos, y con ello la optimización del tiempo y los recursos. La industria aeronáutica, espacial, automotriz y de electrodomésticos fueron las primeras en adoptar esta nueva filosofía de trabajo en integrarla en sus procesos evitando así la depreciación de sus mercancías.

Entre 1970 y 1989 tendrá especial importancia el desarrollo tecnológico y su impacto. La liberación del transporte fomentó el incremento de la productividad mediante una mejor coordinación de la distribución, manufactura y abastecimientos. Además, la revolución de la tecnología de la micro computación impulsa la coordinación e interacción de los elementos del sistema logístico. El intercambio de información o la identificación de productos mediante lectura de código de barras son algunas de las tareas que permitieron mejorar la comunicación entre cliente-empresa, acercando este primero al segundo.

Durante los años 90, los ciclos de producción eran cada vez más cortos y el desarrollo en las comunicaciones y canales de distribución llevó a un aumento de la segmentación del mercado y, con ello, a una mayor variedad de elección. El cliente era cada vez más exigente y sus expectativas también mayores. Además, los avances tecnológicos no cesan, tanto en el producto como en el proceso de elaboración y distribución. En este periodo, la competitividad entre las empresas es cada vez más fuerte, en parte, gracias a la globalización de los mercados.

En la *actualidad*, (De los Ríos, 2019) la logística es uno de los pilares centrales de cualquier organización empresarial. Los clientes cada vez son más exigentes y se debe cumplir con sus expectativas en la entrega de los productos, es decir, debemos asegurar que los productos lleguen al consumidor de una manera efectiva y rentable. Por ello, es necesario integrar tecnologías como inteligencia artificial o la robotización en nuestros procesos logísticos. Cada vez son más las organizaciones que precisan de las tecnológicas habilitadoras de la industria 4.0 para optimizar sus procesos y mejorar la calidad de servicio a nuestros clientes. Un ejemplo es la digitalización de la cadena de suministro permitiendo su optimización, de forma que sea capaz de predecir el mercado, o la robotización, la cual será clave para aumentar la eficiencia tanto en tiempo como en costes de distribución.

En definitiva, el escenario en la actualidad es el siguiente: mercados internacionales que deben adaptarse a un mundo interconectado, dominado por las tecnologías e internet. La evolución histórica de la logística ha traído consigo una evolución en su concepción. La Tabla 2.1 recoge algunas de las acepciones de este concepto a lo largo del tiempo, así como sus autores (Servera, 2010):

Tabla 2.1: Evolución del concepto función logística (Servera, 2010)

Año	Autor	Definición
1927	Borso di	<i>“Existen dos usos del término distribución: el primero para describir la distribución física como transporte y almacenamiento; el segundo, la palabra distribución conocido como marketing.”</i>
1963	National Council of Physical Distribution Management	<i>“La distribución física es un término empleado en la industria y el comercio para describir el amplio conjunto de actividades que se encargan del movimiento eficiente de los productos terminados desde el final de la línea de producción hasta el consumidor y que, en algunos casos, incluye el movimiento de las materias primas desde la fuente de suministro hasta el comienzo de la línea de fabricación.”</i>

1973	Smykay	<i>“La distribución física es el conjunto de actividades relacionadas con el movimiento de productos terminados desde el final de la línea de producción hasta el consumidor”</i>
1974	Bowersox	<i>“La función logística abarca la gestión de materiales y la planificación de todas las actividades necesarias para el movimiento de materias primas, componentes y productos terminados, desde los proveedores hasta las plantas de fabricación, en y entre las instalaciones de la empresa, y desde estas hasta los clientes.”</i>
1976	National Council of Physical Distribution Management	<i>“La gestión de la distribución física describe la integración de dos o más actividades, con el fin de planificar, llevar a cabo y controlar, de una forma eficiente, el flujo de materias primas, inventarios en curso y productos terminados desde el punto de origen hasta el de consumo.”</i>
1985	Council of Logistics Management	<i>“La función logística es el proceso de planificar, llevar a cabo y controlar, de una forma eficiente, el flujo de materias primas, inventarios en curso, productos terminados, servicios e información relacionada, desde el punto de origen al punto de consumo (incluyendo los movimientos internos y externos, y las operaciones de exportación e importación), con el fin de satisfacer las necesidades del cliente.”</i>
1988	Colin y paché	<i>“La función logística gestiona el flujo de mercancías desde el fabricante hasta los clientes, incluyendo la gestión de los productos intermedios y de los aprovisionamientos.”</i>
1991	Schary y Coakley	<i>“El término función logística designa la gestión de bienes y servicios, y la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo.”</i>
1992	Christopher	<i>“La función logística es el proceso de gestión estratégica de los aprovisionamientos, movimiento y almacenamiento de materia-les, productos intermedios y productos acabados y los flujos de información relacionados.”</i>
1992	Brandín	<i>“La gestión logística se puede definir como la planificación, la organización, la implementación y el control -integrales e inter-disciplinarios- de los sistemas de información, dirección y control de la gestión de stocks, del aprovisionamiento y de las compras, de los almacenes e inventarios, de la distribución física y operaciones de tráfico, junto con todas las demás funciones que en su conjunto garantizan la optimización de los flujos de materiales, productos e información a través de las distintas áreas de la empresa, desde el inventario del proveedor o centros de origen, hasta la entrega final al cliente o centros de consumo, para hacer así compatible un criterio de rentabilidad global con el nivel de servicio logístico preestablecido.”</i>
1992	Novack, Rinehait y Wells	<i>“La función logística implica la creación de las utilidades de tiempo, lugar, cantidad, forma y posesión dentro y entre empresas, a través de la gestión estratégica, la gestión de la infraestructura y la gestión de recursos, con el objetivo de crear productos/servicios que satisfagan al consumidor mediante la entrega de valor.”</i>
1998	Anaya	<i>“La función logística integral se define como el control del flujo de materiales desde la fuente de aprovisionamiento hasta situar el producto en el punto de venta, de acuerdo con los requerimientos del cliente.”</i>

1998	Council of Logistics Management	<i>“El proceso de planificar, implementar y controlar de forma eficiente el flujo y almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada, desde el punto de origen al de consumo, con el propósito de satisfacer los requisitos del cliente, incluyendo la definición, los movimientos internos y externos, así como el retorno de materiales.”</i>
1998	Gutierrez y Prida	<i>“La función logística es el conjunto de actividades que se ocupan del flujo total de materiales y de información asociada, que comienza con el aprovisionamiento de materias primas y finaliza con la entrega de los productos terminados a los clientes.”</i>
1998	Stern, El. Ansary, Coughlan y Cruz	<i>“La expresión gestión de la función logística abarca el flujo total de materias primas, desde la adquisición de las materias primas hasta la entrega de los productos terminados al consumidor final, y el contra flujo de información que controla y registra el movimiento de materias.”</i>
2001	Casanovas y Cuatrecasa	<i>“Dado un nivel de servicio al cliente predeterminado, la función logística se encargará del diseño y gestión del flujo de información y de materiales entre clientes y proveedores con el objetivo de disponer del material adecuado, en el lugar adecuado, en la cantidad adecuada, y en el momento oportuno, al mínimo coste posible y según la calidad y servicio predefinidos para ofrecer a nuestros clientes.”</i>
2003	Council of Logistics Management	<i>“La gestión logística es la parte de la gestión del canal que planifica, implementa y controla la gestión eficiente y efectiva del flujo directo e inverso de bienes, servicios e información relacionada entre el punto de origen y el punto de consumo para satisfacer los requisitos del cliente.”</i>
2004	Ballou	<i>“Función logística y cadena de suministros es un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor.”</i>
2006	Bowersox, Closs y Bixby	<i>“La función logística se refiere a la responsabilidad de diseñar y administrar sistemas de control del movimiento y la posición geográfica de los flujos de materiales, productos semielaborados y productos terminados al menor coste posible.”</i>
2006	Gundlach, Bolumole, Eltantawy y Frankel	<i>“Proceso de planificación, implementación y control de los flujos internos y externos de productos, servicios e información desde el punto de origen al de consumo haciendo hincapié en la integración y el cumplimiento de los requisitos del cliente.”</i>
2008	Council of Supply Chain Management Professionals	La función logística es la parte de la gestión del canal de aprovisionamiento que planifica, implementa y controla la gestión eficiente y efectiva del flujo directo e inverso y el almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada entre el punto de origen y el de consumo en función de los requisitos del cliente

Esta variedad de acepciones pone en valor la importancia que precisa el concepto de la logística y su aplicación en las distintas organizaciones, ya que se ha convertido en un componente estratégico para las mismas. Si tenemos una logística y distribución de productos

eficiente, seremos capaces de satisfacer las necesidades de nuestros clientes, minimizando nuestros costes de tal forma que maximicemos la rentabilidad de nuestros procesos.

En otras palabras, la función de planificación, implementación y control de la logística se materializa en la parte de la cadena de suministro encargada de su gestión, esto es, planificación y flujo de información eficiente en ambos sentidos: directo e inverso (desde la planta de manufactura hasta el cliente y viceversa). A continuación, se explicará con un mayor grado de detalle la finalidad y objetivo de la cadena de suministro, así como sus principales características y funciones.

2.4. LA CADENA DE SUMINISTRO

En este apartado, nos vamos a centrar en entender qué es la cadena de suministro, cuáles son sus aplicaciones y todos los aspectos que son necesarios para su diseño.

2.4.1. ¿QUÉ ES UNA CADENA DE SUMINISTRO?

Según el autor del libro titulado *“Administración de la cadena de suministro”*, Peter Meindl, profesor de la Universidad de Stanford y, Sunil Chopra, director de la Escuela de Administración de Kellogg (Meindl & Chopra, 2008), se define el término cadena de suministro de la siguiente manera: *“Es aquella que está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente”*. Esto quiere decir, que no solo se debe considerar al fabricante y proveedor como únicos factores de interés, sino que también se debe considerar al transportista, almacenistas y vendedores, sin olvidarnos de incluir al propio cliente.

Otro autor experto en la materia, Ronald Ballou, define la cadena de suministro como (Ballou, 2004): *“Un conjunto de actividades funcionales que se repiten a lo largo del canal de flujo del producto, mediante los cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade calor al consumidor”*. Esta definición nos lleva a plantear la cadena de suministro como una integración y coordinación de las actividades internas de las organizaciones con los procesos externos, con el fin de minimizar los costes de operación y gestión y maximizar el aprovechamiento de recursos.

Según Alexander Correa y Rodrigo Andrés Gómez, ambos profesores en ingeniería de Organización de la Universidad de Colombia (Correa & Gómez, 2009), la cadena de suministro es concebida como una visión integral de los elementos logísticos, siendo estos de tres tipos distintos: *aprovisionamiento o logística de entrada, fabricación o logística interna, y distribución o logística de salida*.

El propósito de la logística interna es planificar y gestionar los flujos de materiales que tienen lugar dentro de la empresa, es decir, todas aquellas operaciones de producción,

almacenamiento y recogida de productos del almacén. La logística externa (operaciones de entrada y salida de materiales o productos), por el contrario, planifica la gestión de flujo de los materiales y productos entre la empresa y otros componentes y eslabones de la cadena de suministro como son los proveedores, clientes, mayoristas, distribuidores, etc.

Para entender con una mayor claridad este concepto, Peter Meindl (Meindl & Chopra, 2008) nos relata el siguiente ejemplo basándose en una tienda de “Wal-Mart”, especializada en venta de detergentes:

“La cadena de suministro comienza con el cliente y su necesidad por el detergente. La siguiente etapa es la tienda Wal-Mart que él visita. Wal-Mart llena sus estantes con inventarios que pudieron haber sido suministrados desde un almacén de productos terminados o por un distribuidor que emplea vehículos proporcionados por terceros. El distribuidor, a su vez, es abastecido por el fabricante (P&G, Protect & Gamble, en este caso). La planta de P&G recibe la materia prima de varios proveedores, quienes a su vez pudieron ser abastecidos por proveedores de niveles más bajos. Por ejemplo, el material de empaque pudiera provenir de Empaques Tenneco, mientras que este recibe de otros proveedores la materia prima para fabricar el empaque”, (véase la Figura 2.1).

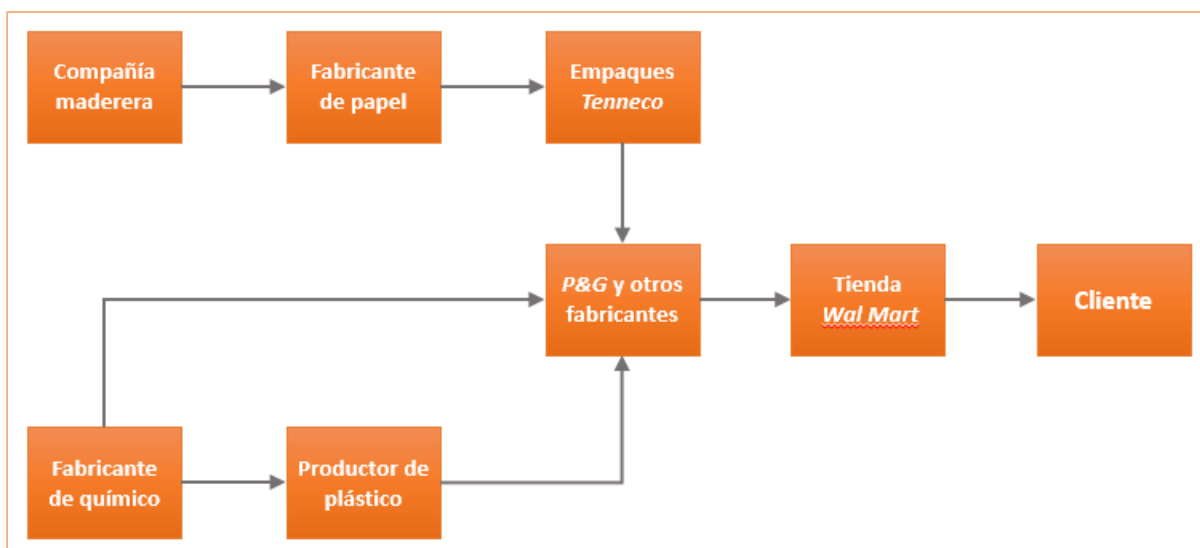


Figura 2.1: Diagrama de bloques de la cadena de suministro de Wal-Mart (Meindl & Chopra, 2008)

Este ejemplo pone de manifiesto la interdependencia de los distintos protagonistas y participantes de una cadena de suministro. Es igual de importante que cumplamos con el pedido demandado por nuestros clientes como que las materias primas necesarias para elaborar nuestro producto final estén disponibles en planta. Por ello, el funcionamiento de la cadena de suministro debe ser (Meindl & Chopra, 2008) dinámico y comunicativo, es decir, el flujo de información entre las diferentes etapas de la cadena de suministro debe ser constante.

El cliente es un eslabón más en la cadena de suministro, pero no de igual importancia que el resto de eslabones, sino que es el propósito principal de esta: satisfacer las necesidades del cliente y generar una ganancia para la organización. Frecuentemente, se define la cadena de suministro (Lambert, 2004) como el “*transporte de un producto o suministro a lo largo de la misma*”, esto quiere decir, desde los proveedores hasta el fabricante de productos, de estos a los distribuidores y de estos a los detallistas (intermediarios), pasando por alto el flujo de fondos generado de estas transacciones y el intercambio de información en ambos sentidos de la cadena de suministro.

Puede que no exista un único proveedor del que recibe materias primas nuestro fabricante y que tampoco haya contratado a un único distribuidor responsable de la distribución del producto. Por esta razón, es más apropiado emplear el término de *red de suministro* (véase en la Figura 2.2). En una cadena de suministro, no es imprescindible la existencia de un distribuidor, en muchas ocasiones es el propio fabricante de productos el responsable de hacer llegar dicho producto terminado al cliente, por lo que el cliente demandará un producto y la fábrica realizará su fabricación. A este tipo de fábricas se las denomina “*Fábricas por orden*” o “*Fábricas sobre pedido*” (Meindl & Chopra, 2008).

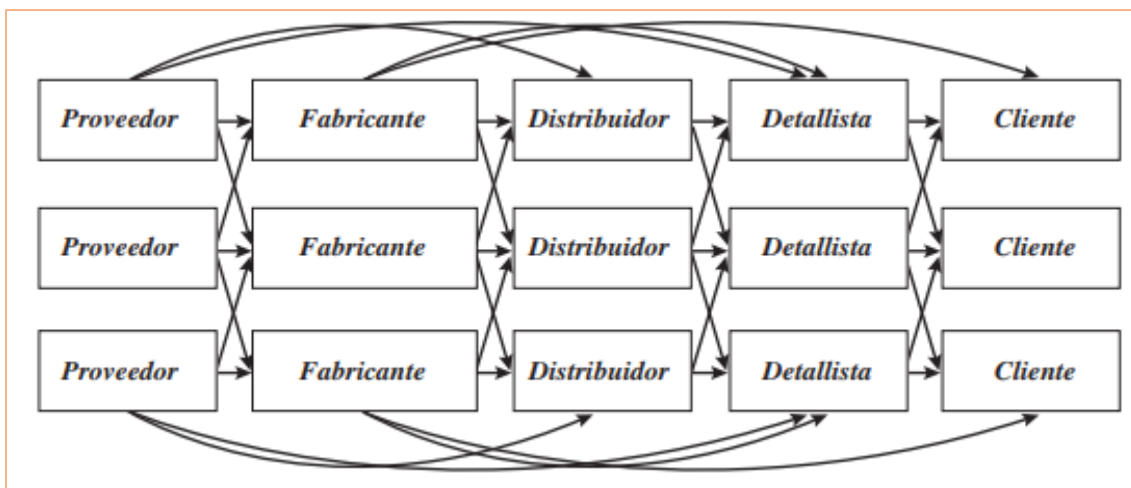


Figura 2.2: Diagrama de bloques de una red de suministro (Meindl & Chopra, 2008)

El objetivo de una cadena de suministro es (Meindl & Chopra, 2008) el de *maximizar el valor generado del funcionamiento de la misma en cada etapa*. El valor que una cadena de suministro genera es la diferencia entre el valor del producto final, es decir, lo que nuestros clientes pagan por dicho producto y los costes que han sido generados debido a las tareas realizadas y necesarias para cumplir la petición del cliente.

2.4.2. ETAPAS DE DECISIÓN EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

La capacidad en la toma de decisiones para la gestión de la cadena de suministro es vital para la rentabilidad y su correcto funcionamiento. Parece obvio destacar que tomar las decisiones correctas en el momento adecuado permite obtener la máxima rentabilidad de la cadena de suministro y su perennidad en el tiempo. En definitiva, se deben tomar decisiones para incrementar la rentabilidad de la cadena de suministro.

De acuerdo con lo escrito anteriormente, las posibles decisiones que se pueden tomar se categorizan en tres grupos dependiendo de (Meindl & Chopra, 2008) la frecuencia a la que se toma cada decisión y del periodo de tiempo en el que se lleva a cabo una decisión. A continuación, se describen las tres fases de decisión de una cadena de suministro, según Meindl y Chopra en su libro “*Administración de la cadena de suministro*”:

a) *Estrategia o diseño de la cadena de suministro (fase 1)*: en esta fase será cuando la organización deba decidir cómo desea estructurar la cadena de suministro en un horizonte temporal determinado; para ello tendrá en cuenta los planes de fijación de precios y de marketing para el producto. Para determinar la estructura de la cadena de suministro, debe decidir cómo va a ser la configuración de la cadena, los distribuidores de recursos y qué, cuántos y cuáles serán los procesos que se materializarán en cada etapa: *Nivel Estratégico*.

b) *Planeación de la cadena de suministro (fase 2)*: el horizonte temporal que se fija para las decisiones tomadas en esta fase es de tres meses a un año. El objetivo será maximizar la rentabilidad de la cadena de suministro dentro del horizonte temporal, teniendo en cuenta las restricciones establecidas en la fase estratégica (fase 1). En esta fase se llevará a cabo la toma de decisiones en cuanto al tipo de mercado que se abastecerá, cuántos mercados, dónde se encuentran, el marketing que se desarrollará, la política de inventario y la oportunidad de la demanda. Las empresas deberán tener en cuenta la incertidumbre en la demanda a la hora de tomar una decisión, así como la competencia durante el horizonte temporal establecido. No obstante, las empresas deberán adaptarse a las variaciones del mercado y la demanda, por lo que es necesario incorporar la capacidad de adaptación a estos cambios de la cadena de suministro. En definitiva, que esta sea lo más flexible posible.

c) *Operación de la cadena de suministro (fase 3)*. El horizonte temporal disminuye respecto a la fase anterior; en este caso es semanal o diario. En esta fase, las decisiones tomadas serán de acuerdo a los pedidos diarios que se abastecen a nuestros clientes. Nos encontramos a *nivel de operación*. El diseño de la cadena de suministro se considera fija. En este nivel, la meta de la cadena de suministro será la gestión de los pedidos entrantes de los clientes, de los inventarios o de la producción entre cada uno de los pedidos (productos semiterminados). Se establecen las fechas en las que el pedido debe completarse, el transporte y envío a realizar, los itinerarios de entrega que realizaran los camiones. Esto es posible porque nos encontramos en un nivel táctico de operación en el que las decisiones

tomadas son a muy corto plazo y esto permite operar con un nivel de incertidumbre de la demanda es mucho menor en relación a las fases anteriores. El objetivo de esta fase será la optimización del desempeño y reducción de la incertidumbre de la demanda.

2.4.3. DESEMPEÑO DE LAS DIRECTRICES EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

Según relata y explica Peter Meindl (Meindl & Chopra, 2008), para comprender cómo una empresa puede mejorar el desempeño y la eficiencia de la cadena de suministro, se deben examinar y estudiar las directrices lógicas e internacionales del comportamiento de la misma, siendo estas: *las instalaciones, el inventario, transportación, información, aprovisionamiento y fijar los precios*. La interdependencia e interconexión de estas directrices (Lambert, 2004) permiten determinar el desempeño de la cadena de suministro en términos de capacidad de respuesta y eficiencia. A continuación, se definen cada una de estas directrices, así como su impacto y función dentro de la cadena de suministro.

Las *instalaciones* son las ubicaciones físicas en la red de la cadena de suministro en las que se almacena, ensambla o fabrica el producto. Se distinguen dos tipos de instalaciones: las destinadas para la fabricación del producto y aquellas que su función únicamente es la de almacenamiento. EL lugar, la ubicación, capacidad y flexibilidad de las instalaciones juega un papel vital en el desempeño de la cadena de suministro a nivel estratégico.

El *inventario* abarca toda la materia prima, el trabajo en producto o producto semiterminado y los productos terminados dentro de la cadena de suministro. Modificar las políticas de inventario puede influir en la capacidad de respuesta y eficiencia. Si se dispone de un elevado volumen de inventario puede incrementar su coste y, por tanto, disminuir la eficiencia de la empresa. Reducir el inventario favorece a la eficiencia de la cadena de suministro, aunque disminuye la capacidad de respuesta.

No obstante, se debe tener en cuenta a la hora de definir el volumen de inventario los siguientes conceptos: *inventario de seguridad*, es aquel que se mantiene en caso de que la demanda supere lo esperado, con el propósito de disminuir la incertidumbre; *inventario estacional* se constituye para contrarrestar la variabilidad predecible de la demanda (las compañías que utilizan este tipo de inventario lo consolidan en periodos de baja demanda y lo almacenan en periodos de alta demanda cuando no tendrán la capacidad de producir todo lo que se requiere); el *nivel de disponibilidad del producto* es la fracción de la demanda que se satisface a tiempo a partir del producto que se mantiene en inventario (un alto nivel de disponibilidad proporciona una gran capacidad de respuesta, pero incrementa el coste).

El *transporte* consiste en mover y cambiar de ubicación el inventario de un punto a otro en la cadena de suministro. El transporte puede realizarse desde distintas rutas o trayectorias, pero no se debe descuidar el impacto directo que tiene esta directriz en la capacidad de respuesta al cliente. El transporte de los productos está íntimamente ligado con la eficiencia de la cadena de suministro.

Se debe transportar el producto en el plazo requerido con la calidad y estado del producto deseado y minimizando los costes ligados al transporte. Por ejemplo, una compañía puede ser muy reactiva en cuanto a la capacidad de respuesta a los clientes, pero muy poco eficiente puesto que el coste asociado a su transporte es muy elevado (transporte aéreo). O puede incurrir lo contrario, ser eficiente en cuanto a costes empleando transporte terrestre, más barato y lento que el transporte aéreo, limitando así su capacidad de respuesta.

La *información* consiste en datos y análisis relativos a las instalaciones, inventario, transporte, costes, precios y clientes a lo largo de la cadena de suministro. Es uno de los aspectos más importantes de la cadena de suministro ya que afecta de manera directa al resto de directrices. La información sirve como conexión entre las diferentes etapas de la cadena de suministro, permitiendo así coordinar y maximizar su rentabilidad total. El ejemplo que se relata en el libro *“Administración de la cadena de suministro”* (Meindl & Chopra, 2008), pone de manifiesto lo descrito anteriormente:

“Una empresa farmacéutica dispone de información sobre los patrones de demanda del consumidor, por lo que fabrica y almacena medicamentos con anticipación a la demanda del cliente, esto hace que la cadena de suministro tenga una alta capacidad de respuesta, ya que los consumidores encontrarán los medicamentos cuando los precisen”.

La información de la demanda puede hacerla eficiente puesto que la compañía farmacéutica está mejor preparada para prever la demanda y producir la cantidad que esta requiere. Además, la hace más eficiente puesto que puede proporcionar opciones de envío: establecer rutas de menor coste cumpliendo los requerimientos establecidos.

El *aprovisionamiento* es la decisión sobre quién desempeñará una actividad específica de la cadena de suministro como producción, almacenamiento, transporte o administración de la información. En el nivel estratégico, estas decisiones determinan qué funciones las llevará a cabo la organización y cuáles se subcontratarán. Las decisiones de aprovisionamiento están íntimamente relacionadas con la capacidad de respuesta y la eficiencia de la cadena.

Fijar los precios determina cuánto cobra una organización por los bienes y servicios que pone a disposición de la cadena de suministro. Esta decisión afecta al comportamiento del comprador o cliente, por lo que también influye en el desempeño de la cadena de suministro. Si una compañía de transporte varía sus cargos en relación con el tiempo de entrega proporcionado por los clientes, probablemente aquellos que valoren la eficiencia realizarán sus pedidos con anticipación y aquellos que valoren la capacidad de respuesta estarán dispuestos a esperar o harán su pedido justo antes de que necesiten que se transporte el producto. Por ello, si los precios se mantienen fijos, los pedidos anticipados disminuirán.

Como se ha aludido al comienzo de este apartado, es importante reconocer la interdependencia de estas directrices para el correcto desempeño de la cadena de suministro. El buen diseño y funcionamiento de esta pone de manifiesto dicha interacción y establece los equilibrios necesarios para cumplir con el nivel de capacidad de respuesta deseado.

2.5. LA LOGÍSTICA Y LAS TIC

La cadena de suministro supone la base del desarrollo empresarial gracias a que su importancia ha ido cobrando cada vez mayor peso a lo largo del tiempo. Esta es la razón por la que se ha decidido mejorarla mediante la implantación y gestión de tecnologías, como son las Tecnologías de la Información y la Comunicación, que se han convertido en un medio para adquirir una ventaja competitiva en el mercado, así como un mecanismo de desarrollo de las organizaciones.

En el artículo titulado *“Tecnologías de la información en la cadena de suministro”* de Correa y Gómez (Correa & Gómez, 2009), se define las TIC como: *“el estudio, el diseño, el desarrollo, el fomento, el mantenimiento y la administración de la información por medio de sistemas informáticos, esto incluye no solamente la computadora, el medio más versátil y utilizado, sino también los teléfonos móviles, la televisión, la radio, los periódicos digitales, ...”*

El mundo de la tecnología parece evolucionar casi a diario. Mantenerse al día con todos los cambios que se producen y acontecen en nuestra sociedad a nivel tecnológico puede ser difícil para nuestras empresas, pero aquellas que desean mantenerse al corriente, deben invertir en tecnología e innovación para mejorar y optimizar los procesos y el servicio logístico ofrecido al cliente.

En la actualidad, cada vez son más las empresas que emplean TIC para la gestión de almacenes (Correa, Gómez, & Cano, 2010) ya que permiten agilizar, flexibilizar y mejorar el intercambio de información. En la cadena de suministro se emplean para la optimización de rutas, el transporte de productos, el cálculo de inventarios, la trazabilidad en la gestión de pedidos, ... Por ello, aquellas empresas que implantan las TIC en la gestión de la información desmarcan con una ventaja competitiva respecto a las que no lo hacen en la mejora de la eficiencia de los procesos logísticos. El uso de las TIC es una variable de segmentación de empresas ya que afecta a los procesos de formación de la calidad, el valor, la satisfacción y la lealtad a sus relaciones.

Existe una gran variedad de TIC que son empleadas para la transformación de procesos logísticos. A continuación, se van a exponer algunos de los ejemplos más importantes de TIC que se emplean al servicio de la logística y las operaciones. Si tenemos en cuenta los procesos de *logística de aprovisionamiento* nos encontramos con (Correa, Gómez, & Cano, 2010):

Electronic Data Interchange (EDI), también conocido como intercambio electrónico de datos. Consiste en la transmisión electrónica de documentos comerciales normalizados entre ordenadores, de tal manera que la información puede procesarse sin necesidad de ningún tipo de intervención manual. Este intercambio de información automatizado y normalizado entre empresas permite mejorar el aprovisionamiento y la gestión de la cadena de suministro (*Supply Chain Management, SCM*), puesto que reduce los tiempos de envío, de recepción de documentos y los costes, y permite mejorar las relaciones comerciales entre los implicados en dicha gestión.

E-Procurement es una herramienta que automatiza y optimiza el proceso de compras mediante un software e internet, de tal forma que contribuye a mejorar la relación entre el comprador y el vendedor compartiendo información. El empleo de catálogos para realizar pedidos o las automatizaciones de las operaciones de compra corresponden con algunas de las operaciones llevadas a cabo por esta herramienta.

Vendor Managed Inventory (VMI) y *Continuous Replenishment Program (CRP)* conforman un sistema de aprovisionamiento basado en el intercambio de información a través de internet o EDI. El proveedor es capaz de gestionar los niveles de stock de la empresa a la que vende, pudiendo ser el ejecutor de los pedidos. La diferencia entre VMI y CRP es que el primero se concreta cuando el proveedor controla los inventarios de los clientes y restablece las cantidades requeridas para garantizar el proceso productivo, y el segundo es parte integrante del primero: emplea la información para garantizar el reaprovisionamiento en continuo.

En cuanto a la *logística interna* las TIC desarrolladas son las siguientes (Correa, Gómez, & Cano, 2010):

Enterprise Resource Planning (ERP) es una herramienta de planificación de recursos de empresa que permite gestionar de manera integrada las funciones de la empresa. Este software se personaliza según las necesidades y el proceso productivo de cada organización. SAP es uno de los principales proveedores del entorno ERP, y lo contempla como “una arquitectura de software empresarial que facilita los ERP emplean una única base de datos. Esto permite que el intercambio de información y comunicación entre departamentos de la organización sea mucho más fluido con el fin de evitar errores de redundancia de información o de tratamiento de la misma”.

Warehouse Management System (WMS) es un subsistema de información que ayuda a administrar el flujo de los productos y el manejo de las instalaciones en la red logística. Aquellas operaciones en las que se controla el flujo de materias prima y entrada de las mismas en el proceso productivo, así como las órdenes de pedido de los clientes, pueden gestionarse a través de WMS. Frente a otros sistemas, WMS permite conocer en tiempo real el uso de recursos de almacén, reducir costes a través de la optimización de operaciones, mejorar la calidad del servicio, control del stock, cumplir con las especificaciones de cada pedido, así como garantizar la trazabilidad del producto y pedido.

El *código de barras* es una herramienta que permite capturar rápidamente la información relacionada con los números de identificación de cada producto. Una mejora en la gestión de la información se consigue si todos aquellos participantes en la cadena de suministro emplean el mismo código para un producto. Las ventajas del empleo de esta herramienta son la mejora en la planificación, mejor identificación de productos, el control de inventarios se realiza de forma sencilla, mejora en los procesos de almacenamiento, etc.

Radio Frequency Identification (RFID), tecnología que emplea las ondas por radiofrecuencia para la identificación de productos de forma automática, para lo cual es necesario el empleo

de etiquetas especiales que emiten señales de radio a unos lectores que serán los que recojan dichas señales. Las ventajas de esta técnica son la fiabilidad y rapidez en cuanto a la lectura de código en productos, también permite una mayor capacidad de almacenamiento de datos respecto al código de barras, no es necesario el contacto visual entre lector etiqueta como en el caso del código de barras, el control de inventario, por tanto, se hace a tiempo real y con una tasa de error prácticamente nula. En consecuencia, esta tecnología cada vez se emplea más en las empresas como sistema de trazabilidad de productos.

Otra tecnología empleada en el campo logístico es el *Pick up to Light* y *Pick up to Voice*. Son sistemas de *picking* en los que no se precisa del empleo de papel, sino de redes luminosas y sistemas de voz. El *Pick up to Light* se basa en una serie de indicadores luminosos que guían al operario para determinar las ubicaciones de *picking* y las cantidades a recoger. Cuando el operario realiza dicha operación, este debe pulsar un botón de confirmación actualizando así el stock en tiempo real. Para el *Pick up to Voice* el operario porta un receptor y auricular para transmitir y recibir mensajes sobre la operación *picking* en proceso.

Si hablamos de las TIC desarrolladas y empleadas en el campo de la *logística de salida* nos encontramos con (Correa, Gómez, & Cano, 2010):

El *Transportation Management System* (TMS) comprende alternativas en modos de transporte y en sus costes, optimizando los recursos de transporte y los costes en los servicios requeridos por el cliente. El TMS permite la consolidación de cargas, cuando se tienen varios pedidos de volumen pequeño, lo que permite reducir costes de transporte y mejorar la eficiencia del proceso.

El *Consumer Relationship Management* (CRM) es una herramienta de estrategia que utilizan las empresas para conocer a sus clientes, identificar nuevos y retenerlos. Las ventajas que presenta son las siguientes: facilidad en cuanto a la administración de la información relacionada con los clientes aumentando su satisfacción, reducción de costes y mejora en la productividad gracias a la automatización de los procesos.

Otra herramienta empleada es el *Efficient Consumer Response* (ECR), también conocido como respuesta eficiente al consumidor: es un modelo estratégico gracias al cual cooperan clientes y proveedores para entregar al consumidor final el mayor valor posible en el producto. Las empresas deben trabajar de manera conjunta con el fin de satisfacer los deseos de los consumidores de manera eficiente, rápida y con el menor coste posible. El funcionamiento del ECR se basa en la utilización de EDI y código de barras, gracias a los cuales se identifica y trazan los productos y se mejora la agilidad en el intercambio de información entre cliente y proveedor.

Por último, el *Global Position System* (GPS) es un sistema de satélites que emplea la navegación para determinar la ubicación de un objeto con un elevado grado de exactitud. Empleando el GPS podemos obtener la ubicación exacta de los productos dentro de la cadena de suministro, monitorizar las cargas y descargas de productos, así como los vehículos

empleados para el transporte. Permite una mejora en el control de flota obteniendo una reducción de los costes en el transporte.

2.6. LA LOGÍSTICA INVERSA

2.6.1. DEFINICIÓN

En la logística inversa, la distribución de producto se realiza desde el consumidor al fabricante (De Brito & Dekker, 2003), lo que significa que el flujo de transporte se realiza en el sentido opuesto de lo que se conoce como logística tradicional. Factores como la necesidad por parte del cliente de un servicio post-venta cada vez más competente y las necesidades de recuperación de productos para aumentar la rentabilidad de la empresa contribuyen a la generación de flujo de materias primas o productos en la dirección opuesta a lo que conocemos y así contempla la logística administrativa. Esto manifiesta la importancia que ha cobrado la logística inversa en las organizaciones, por ello, será vital una eficaz gestión de la misma para favorecer la competitividad de las organizaciones.

Además, los hábitos de vida y consumo de nuestra sociedad han contribuido y contribuyen a la creciente generación de residuos de distinto origen y tipología. Cada vez resulta más compleja la gestión de esta problemática. Los problemas medioambientales y la concienciación de los países para respetar y minimizar la generación de residuos, ha llevado a numerosos países a considerar la gestión de los residuos mediante la aplicación de la logística inversa como una parte integrante de su economía (López, 2010).

Muchas de las nuevas organizaciones se centran en recuperar productos o materiales de los clientes con el fin de recuperar valor o también como servicios postventa. Como se ha comentado en el párrafo anterior, de esta necesidad surge, por primera vez en el año 1971, el concepto de “*Logística inversa*” de la mano de Luttwak aunque también se la denomina *distribución inversa, retrologística, logística reversa o logística de la recuperación y el reciclaje*.

Aunque es un concepto que se conoce desde hace relativamente poco tiempo (en comparación con la *logística tradicional*), varios son los expertos que han definido la logística inversa. Rogers y Tibben-Lembke definen la logística inversa (Tibben-Lembke & Rogers, 2002) como “*el proceso de planificación, ejecución y control de la eficiencia y eficacia del flujo de las materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada, desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el fin de recuperar valor o la correcta eliminación.*”

Según REVLOG (REVLOG, 2004), “*la logística inversa comprende las operaciones relacionadas con la reutilización de productos y materiales incluyendo todas las actividades logísticas de recolección, desembalaje y proceso de materiales, productos usados, y/o sus partes, para asegurar una recuperación ecológica sostenida*”.

Según Antonio Rentero (Rentero, 2018), “la logística inversa se define como la estrategia en el mundo de la logística que consiste en la recuperación de los residuos originados por una actividad productiva o de consumo”. Desde un enfoque medioambiental, la logística inversa permite recuperar y reciclar envases, embalajes y residuos que son altamente perjudiciales para el medio ambiente por su constitución y composición. No obstante, también se encarga de todos los procesos de retorno de excesos de inventario, devoluciones de clientes o productos descatalogados y/u obsoletos.

En definitiva, la logística inversa traslada los bienes desde el consumidor hasta el fabricante, si el origen es una devolución de producto, o hasta el centro de recogida, si es un bien fuera de uso, con el fin de proceder a la reutilización del producto o a su destrucción. Así lo recoge la definición de logística José López Parada en su tesis “Incorporación de la Logística Inversa en la cadena de suministros y su eficiencia en la estructura organizativa de las empresas” (López, 2010). La Figura 2.3: La Logística inversa vs. Logística directa. Adaptación muestra el esquema del ciclo logístico del producto en el que se incluye el flujo de la logística tradicional y el de la inversa:

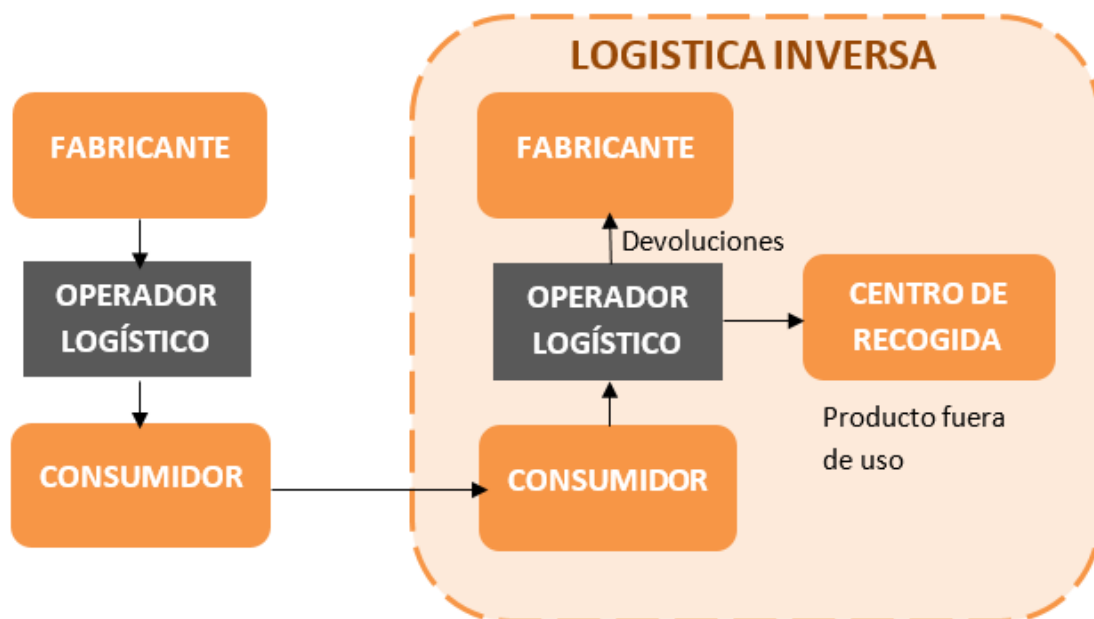


Figura 2.3: La Logística inversa vs. Logística directa. Adaptación (López, 2010)

2.6.2. LA LOGÍSTICA INVERSA VS. LOGÍSTICA DIRECTA

Una vez expuesto el concepto de logística inversa, es necesario conocer las ventajas y desventajas que ofrece frente a la logística directa o tradicional. En la Tabla 2.2, se recogen las principales diferencias existentes entre la logística inversa y directa (Oltra, 2013) (Feal, 2008):

Tabla 2.2: Logística inversa vs. Logística directa, adaptado de (Feal, 2008)

LOGÍSTICA DIRECTA	LOGÍSTICA INVERSA
Estimación de la demanda sencilla	Estimación de la demanda más compleja
Transporte de uno a muchos	Transporte de muchos a uno
Calidad del producto uniforme	Calidad del producto no uniforme
Precio relativamente uniforme	El precio depende de muchos factores
Importancia en la rápida entrega	En muchas ocasiones, no es importante la rapidez en la entrega.
Los costes son claros y monitoreados por sistemas de contabilidad	Los costes inversos son menos visibles y rara vez se contabilizan
Gestión inventario sencillas	Gestión inventario muy compleja
Ciclo de vida del producto gestionable	Ciclo de vida del producto más complejo
Métodos de marketing conocidos	Marketing complejo por diversos factores
Embalaje de producto uniforme	Embalaje de producto a menudo dañado
Canal normalizado	Canal dirigido por excepciones
Negociación directa entre las partes	Negociación más compleja por consideraciones adicionales
Información para hacer seguimiento del producto a tiempo real	Visibilidad del proceso mucho menos transparente
Proceso de producción tradicional, consistente en montaje, fabricación	Procesos de producción consistente en el desmontaje y re-fabricación
Destino/Ruta claramente definidos	Destino/Ruta no definidos
Opciones de disposición del producto claras	Opciones de disposición no definidas claramente

Si comparamos la logística directa con la inversa, teniendo en cuenta los costes asociados a las operaciones llevadas a cabo en ambas, generalmente la logística directa supone un coste mayor que la logística inversa. En la Tabla 2.3, se recogen los principales costes asociados a la logística inversa comparados con la logística directa (Tibben-Lembke & Rogers, 2002):

Tabla 2.3: Costes asociados a la logística inversa vs. Logística directa (Tibben-Lembke & Rogers, 2002)

COSTES LOGÍSTICA INVERSA	COMPARACIÓN CON LA LOGÍSTICA DIRECTA
Trasporte	Mucho mayor
Inventario	Menor
Merma	Mucho menor
Obsolescencia	Puede ser mayor
Clasificación y diagnóstico de calidad	Mucho mayor
Manipulación	Mucho mayor
Reparación y reempaquetado	Significativo para logística inversa, no existente en la logística directa
Cambio de valor en los libros	Significativo para logística inversa, no existente logística directa

2.6.3. LOGÍSTICA INVERSA EN LA CADENA DE SUMINISTRO. LOGÍSTICA VERDE

A la hora de considerar la cadena de suministro, es necesario fijar unos estándares y normas que deben cumplirse por los proveedores, fabricantes y clientes, como la devolución de los productos, el reciclado, ..., que son necesidades derivadas de los aspectos medioambientales y que incurrirán en un cambio notorios dentro de la función logística y económica de la cadena de suministro (López, 2010).

Según Guide y Wassenhove (2002) existen cinco componentes que hay que tener en cuenta a la hora de definir y ejecutar la cadena de suministro inversa (Guide & Van Wassenhove, 2002):

- *Adquisición del producto.* EL producto usado debe ser recuperado.
- *Logística reversa.* Una vez que están recogidos, los productos usados se transportan a un cierto lugar de la instalación para su inspección, clasificación y disposición.
- *Inspección y disposición.* Se prueban, se clasifican y se califican los productos devueltos. Las pruebas de diagnóstico se pueden realizar para determinar una acción de disposición que permita recuperar el mayor volumen posible de los mismos. Si un producto es nuevo puede retornar a la cadena de suministro principal. Unos productos pueden ser elegidos para su reacondicionamiento mientras que otros se pueden vender como desecho o reciclaje.
- *Reacondicionamiento.* Algunos productos se pueden reacondicionar o refabricar.

- *Distribución y ventas.* Los productos reacondicionados o refabricados se pueden vender en mercados secundarios donde los clientes no están dispuestos a adquirir un producto nuevo. En otros casos, la empresa puede necesitar crear un nuevo mercado si la demanda no está presente.

El fin último no es el beneficio mediante la venta de nuevos productos; lo que se busca es obtener un rendimiento a partir de la valorización de productos que fueron rechazados por los consumidores. El proceso de logística inversa incluye la recogida de productos, los procesos de selección y, si fuese necesario, el proceso de destrucción o eliminación de los productos (Oltra, 2013) (López, 2010). Si en el proceso de selección se determina que los productos pueden ser reutilizados o remanufacturados para su uso en origen o para uno nuevo, se harán llegar al consumidor mediante un canal de comercialización. Si el producto se recicla, se incorpora como materia prima dentro de la cadena de suministro. La Figura 2.4 muestra el proceso de manera esquemática.

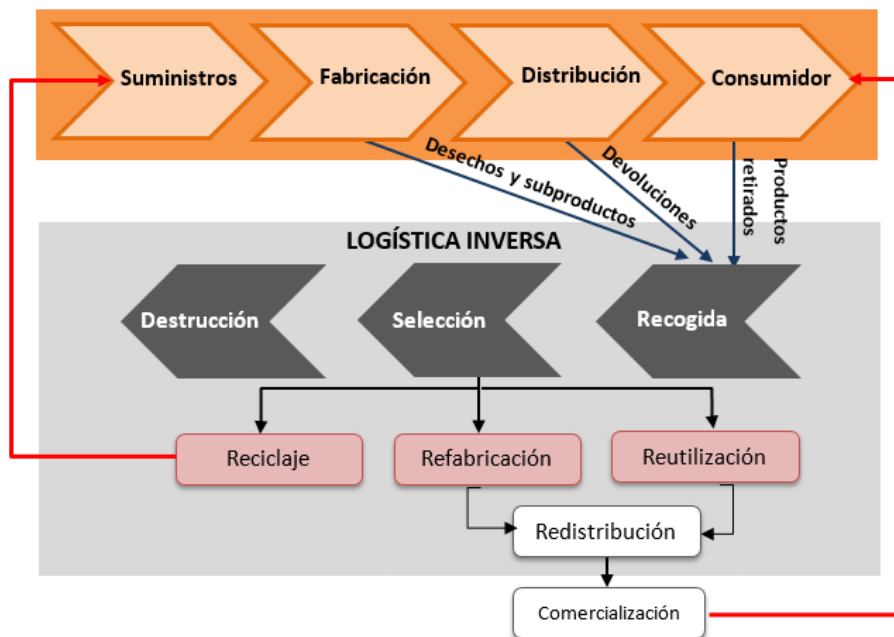


Figura 2.4: Flujo de la logística inversa o "logística verde". Adaptado de (López, 2010)

Todo ello, permite reducir el volumen de desechos y contribuir de manera positiva en el impacto medioambiental, implantando así en las empresas lo que se conoce como la jerarquía de soluciones verdes (Craig, Carter, & Lisa, 1998): primero la disposición, luego el reciclaje, posteriormente la reutilización y, por último, la reducción de recursos.

Existen distintos ejemplos de logística inversa que están triunfando en el mercado. Por ejemplo, la reparación de electrodomésticos vuelve a cobrar importancia en el mercado gracias a una nueva mentalidad y concepción del consumidor respecto a la reutilización. La

incineración de residuos permite dar utilidad aquellos productos que estaban destinados a su destrucción obteniéndose así energía útil, ya sea eléctrica o térmica.

2.7. IMPACTO DE LA LOGÍSTICA EN EL MUNDO: LA GLOBALIZACIÓN

El creciente desarrollo de las tecnologías de la información, acompañado de un incremento del número de pedidos a nivel internacional realizados gracias a la apertura de las fronteras comerciales entre países, ha repercutido en la concepción de la logística y en la forma en que era concebida por las empresas (EAE, 2016). Todo esto ha sido posible gracias a la globalización. Además, la nueva filosofía de trabajo *Just in Time* de las empresas, ha traído consigo la necesidad de poseer un elevado nivel de conocimientos técnicos y recursos económicos para disponer de la infraestructura y tecnología necesaria y así poder satisfacer a los nuevos mercados.

Otra consecuencia de la globalización es el cambio en la concepción de la logística por parte de las empresas y los fabricantes, ya que la competitividad entre las empresas cada vez es mayor. El número de almacenes aumenta día a día como resultado de la globalización, puesto que se emplean más productos y materias primas originarios de países lejanos, debido a su bajo coste o por exclusividad de producción. Por ello, es necesario disponer de numerosos almacenes para almacenar el stock necesario y hacer frente al resto de fases de la cadena de suministro, dando lugar al transporte multimodal. En última instancia, el transporte multimodal es gracias a la globalización.

El transporte de mercancías desde un lugar a otro ubicado en cualquier parte del mundo se realiza empleando diferentes medios de transporte, incluso diferentes combinaciones de los mismos: aéreo, marítimo, ferrocarril y en carretera. De esta forma, las necesidades de abastecimiento están cubiertas.

La realidad que nos atañe en el campo de la logística (De los Ríos, 2019), es que cada vez son más los nuevos métodos empleados para abastecer productos o materias primas a fabricantes o clientes. En este punto, la tecnología juega un papel clave, como ya se comentó en apartados anteriores. Muchas son las nuevas tendencias que están revolucionando el mundo de la logística y también muchas las empresas que están aplicando dichas tecnologías y procesos.

La logística no solo se encarga de transportar o abastecer, sino de prever y planificar, así como detectar las tendencias en el mercado y en el sector empresarial que corresponda. Tener la capacidad de poder detectar las tendencias que van a marcar el mercado del transporte en el futuro se convierte en una ventaja competitiva clave para las organizaciones. Por ello, las cadenas de suministro cada vez son más inteligentes y la globalización, así como el uso de internet permiten la entrada a diferentes mercados.

Actualmente, las tendencias que van a cambiar o están cambiando el mundo del sector logístico actual son diversas. Por ejemplo, encontramos la *Entrega en el mismo día*. Amazon Prime Now se ha convertido en una de las empresas punteras en suministro de productos al cliente; es capaz de realizar la entrega tan solo unas horas después de que el pedido se haya realizado. Todos los usuarios que desean recibir su compra en el mismo día y cuanto antes, pueden elegir esta opción de compra para que un proveedor logístico recoja el producto y los entregue en el mismo día. Esta tarea está empezando a realizarse mediante el uso de los drones como medio para entregar los pedidos, pero todavía está en desarrollo, aunque en Reino Unido, Amazon ya está comenzando a realizar este servicio para sus usuarios Premium.

Por su parte, el *Big Data* y el *IoT* permiten la recogida de la mayor cantidad de datos posibles para analizarlos. De este estudio se obtendrán mejoras a realizar en la cadena de suministro. Si conocemos todos los datos de entrega hará que aumente la calidad del producto, pero también se exigirá más para que las empresas sean capaces de hacer frente a las órdenes de pedido en el menor tiempo posible.

Algunos ejemplos de la aplicación de las tecnologías de la I4 son los siguientes: el análisis de los datos de los transportistas para determinar aquellas rutas que incurren en menores atascos y retrasos para cumplir con los plazos; los vehículos guiados automáticamente para evitar accidentes: actualmente se realiza el transporte gracias al factor humano que los pilota, pero ¿y si el vehículo es guiado de forma automática controlado por una nube de datos?, la tasa de accidentalidad se reduciría. Dentro de las empresas ya se están desarrollando campos magnéticos para detectar a personas que se acercan a las máquinas y, con ello, evitar la colisión con peatones.

Y, por último, la más trascendente y significativa de todas las citadas anteriormente, es la *responsabilidad con el medio ambiente*. Cada vez son más las políticas establecidas por los gobiernos en las que se contempla la importancia y el respeto con el medio ambiente. Por ello, las empresas se ven obligadas a adaptar sus directrices y responsabilidades corporativas. Como ejemplo, los medios de transporte que las organizaciones empleen para la función logística deberán respetar el medio ambiente en cuanto a la emisión de partículas a la atmósfera. Son cada vez más los clientes que valoran de forma positiva aquellas empresas que adoptan políticas medioambientales.

3. LA I4 APLICADA A LA LOGÍSTICA - PARTE I

Como ya se expuso en el capítulo dedicado a la I4, cada vez son más las organizaciones que apuestan por una logística digitalizada. La gestión de la innovación permite a las empresas reaccionar ante nuevas oportunidades para lanzar nuevas ideas, productos y servicios. El enfoque en el cliente y su compromiso ha contribuido a la necesidad de la I4, y el uso de las tecnologías de internet ha permitido innovar, mejorar y optimizar las operaciones logísticas.

En los próximos capítulos se abordarán las diferentes tecnologías que presenta la I4 en el ámbito de la logística. Conoceremos en qué consisten, cuál es su fundamento, funcionalidades principales, y sus aplicaciones en el campo de la logística, exponiendo ejemplos concretos de implantación y uso en distintas organizaciones.

3.1. INTRODUCCIÓN

La digitalización está en pleno auge para el sector industrial y logístico. El motivo no es otro que la feroz competitividad existente entre las organizaciones. Por ello, las empresas invierten en la aplicación de diferentes tecnologías para el desarrollo automatizado de las operaciones: por ejemplo, en los procesos de fabricación y distribución mediante la aplicación del IoT, gracias al cual, se ha conseguido un avance en la interconexión en la red entre la producción de productos y el almacenamiento y distribución de los mismos, permitiendo incluso la fusión entre dichas operaciones (Álvarez-Palau & Viu , 2018).

Un reciente estudio elaborado por McKinsey (Shah, Naghi Ganji, Mabbott, & Bate, 2018) reveló que para al año 2020, uno de cada cinco coches estarán conectados a internet. Los vehículos conectados y autónomos precisan de la tecnología necesaria para comunicarse e intercambiar información de forma inalámbrica con otros vehículos, infraestructuras u otros dispositivos y redes externas. En definitiva, un vehículo autónomo es capaz de conducir sin presencia humana (Shah, Naghi Ganji, Mabbott, & Bate, 2018). Este no es más que otro ejemplo que pone de manifiesto lo expuesto en apartados anteriores: nos movemos hacia una industria digitalizada e inteligente capaz de fabricar productos inteligentes.

La aplicación de las herramientas tecnológicas busca satisfacer la demanda de nuestros clientes, pero no de manera puntual, sino de forma constante y eficiente (Pérez, Saucedo, Salais, & Marmolejo, 2017). Esto lleva a las organizaciones a experimentar cambios en sus sistemas productivos y estructuras de organización, con el fin de aportar el máximo valor a su producción.

Si retomamos el concepto de la industria 4.0, esta proporciona herramientas y tecnologías cuya funcionalidad es dar soporte y fortalecer la integración de la empresa, así como la mejora sustancial de los sistemas. Por lo tanto, *“ya no se puede limitar el enfoque empresarial a una*

simple evolución de negocio y la tecnología, sino que se debe adaptar a una revolución en la forma de ver las cosas” (Álvarez-Palau & Viu , 2018).

Esta cita nos explica la importancia a la hora de concebir la digitalización en las organizaciones: por ejemplo, en el campo logístico, las empresas no solo deben preocuparse por realizar las cosas cada vez mejor, sino también tienen que prestar especial atención a la competencia en el mercado, que cada día es más exigente y complicado.

La implementación de la función logística cada vez más autónoma empleando vehículos automatizados (AGV, *Automated Guided Vehicle*) guiados por radiofrecuencia o wifi, el empleo de drones, robot, ..., el uso de técnicas de fabricación aditiva más cercanas a nuestros clientes mediante la impresión 3D, el IoT empleando sensores capaces de conectar los objetos físicos con la red, la realidad aumentada empleando *smartglasses* en actividades de *picking*, el almacenamiento masivo de datos o Big Data, y la revolución de la mano de Amazon ante la entrega de cualquier producto en cualquier momento y en cualquier lugar, ha supuesto unos de los grandes retos y tendencias que están revolucionando la industria de la logística contextualizada en la “digitalización” o “era digital”.

Debido a las distintas revoluciones industriales que han acontecido en las últimas décadas, la logística se ha visto afectada y, por ello, ha sufrido cambios notorios en su ejecución y conceptualización. En el capítulo 2 se presentó la evolución temporal del concepto función logística; ahora, hablaremos de cómo y por qué nos encontramos en lo que se concibe actualmente como logística 4.0.

La logística 4.0 engloba las tecnologías que se aplican en toda la cadena de suministro y que permiten conectar digitalmente tanto con los proveedores como con los clientes mediante el transporte y distribución (García, 2018). Permite una mayor optimización de la cadena de suministro, de los procesos integrados en la misma, de la planificación de la producción en función de la previsión de la demanda, reducción de los stocks, mejora de las rutas, geolocalización de productos, destinos y vehículos, y garantiza una trazabilidad de la mercancía.

Para conseguir implantar una logística digitalizada e interconectada, se precisan de las tecnología habilitadoras de la I4. A continuación, se exponen algunos tipos de tecnologías de la I4 punteras en el área logística que permiten mejorar y optimizar las operaciones logísticas en las organizaciones (García, 2018):

- El *etiquetado inteligente* mediante la identificación del producto empleando RFID, módems GPRS, asegurando la trazabilidad de los productos en la logística interna.
- El *empleo de wearables* (IoT) en los procesos logísticos para guiar a los empleados, eliminar errores, ...
- La realidad aumentada en las operaciones de *picking*, de control de inventarios.
- Los *robots o robótica* colaborativa, como son los AGV o vehículos guiados automáticamente capaces de interactuar con el entorno, transportando los productos

en la planta de forma totalmente autónoma y garantizando la seguridad en la interacción humano-máquina.

- El *Blockchain* permite certificar la trazabilidad de los procesos logísticos.
- La *simulación* empleada para las tareas relacionadas con la distribución del *lay-out* o gestión de la planta de los almacenes.
- Los *drones*, dispositivos capaces de realizar las operaciones de control de inventarios, transporte de paquetería o incluso inspeccionar los procesos de fabricación.
- La *Integración colaborativa de herramientas* permitiendo que la información que se transfiere de forma digital lo haga a través de toda la cadena de suministro, obteniendo así un control y gestión de la misma totalmente digitalizado.

Actualmente, las grandes empresas concentran todos sus esfuerzos para hacer uso de las tecnologías habilitadoras que proporciona la I4 y conseguir la digitalización de sus cadenas de suministro. Esto conlleva un coste elevado, sobre todo aquellas tecnologías que lo supongan serán adoptadas a los procesos de manera progresiva y gradual. Muchas son las empresas que ya están aplicando las tecnologías de la I4 en sus procesos y productos. En este y en el siguiente capítulo, nos centraremos en explicar las tecnologías más relevantes aplicadas en las organizaciones, así como su impacto concretamente en el sector logístico, consiguiendo así una eficiencia y mejora en las principales funcionalidades que tienen lugar en esta área.

3.2. LA REALIDAD AUMENTADA, AR

Las *Realidad Aumentada* (AR) forma una parte importante en el cambio hacia la fabricación digital (Himperich, 2007). Este término se emplea para definir una visión directa o indirecta de un entorno físico del mundo real. Esta tecnología integra objetos virtuales en el mundo real. Las imágenes ampliadas con objetos virtuales se pueden tomar desde una cámara para procesarlas, de tal forma que el resultado se vea en una pantalla ubicada en la propia montura de las gafas (*smartglasses*) o una pantalla de PC (véase Figura 3.1).



Figura 3.1: Smartglasses AR (IVACE, 2016)

Este dispositivo presenta la ventaja de poder ver a través del mismo y realizar tareas de construcción o montaje mientras ve el objeto virtual. Por ello, el campo de visión real del

usuario puede ser aumentado (Himperich, 2007). Los componentes básicos de la técnica AR son: dispositivos de visualización, cámara web para captar la información del mundo real, software o App, para llevar a cabo la toma de datos reales y transformarlos en AR, y los marcadores, símbolos que el software es capaz de interpretar para mostrar imágenes, videos, animaciones, procesos, ...

En cuanto a la formación de los empleados, la ventaja que aporta la técnica AR es que es más intuitiva que las instrucciones escritas en un manual, puesto que puede mostrar directamente a la persona instruida cómo y dónde debe hacer tareas. Gracias a ello, se acortan los tiempos de aprendizaje, ya que no se necesita “transferencia mental”, es decir, la persona instruida sólo tiene que ver las instrucciones mostradas en la pantalla de las gafas AR.

Son varios los campos de aplicación de la tecnología AR: montaje, logística interna, operaciones de *picking*, preparación de pedidos o mantenimiento (Murauer & Gehrlicher, 2018). En cuanto a la preparación de pedidos o *picking*, la AR es el sistema más innovador. Su funcionalidad se basa en el empleo de unas gafas AR, *smartglasses*, portadas por el operario, además de un sistema de voz.

En el sector de la automoción, garantizar una formación eficiente y de calidad es cada vez más importante. La complejidad de los coches que se desarrollan se incrementa cada vez más debido al empleo de prototipos virtuales en las tareas de construcción y diseño. Sin embargo, el Grupo BMW comienza a liderar en este sector, y la causa no es otra que su ferviente investigación, aplicación e inversión en las tecnologías de la I4.

El Grupo BMW está desarrollando sistemas innovadores en el área de la logística inteligente. Las tecnologías de datos inteligentes proporcionan información en tiempo real sobre toda la cadena de suministro. Esto permite garantizar que la entrega de suministros a las plantas se puede ajustar de manera rápida y flexible en respuesta a las condiciones cambiantes de la demanda.

Un ejemplo puede ser el uso de gafas de realidad aumentada para el escaneado de productos en el almacén, que fue un proyecto de doctorado de la universidad alemana Technische Universität Ilmenau (Murauer & Gehrlicher, 2018). Su aplicación en BMW permitió aumentar la productividad un 20% y redujo la tasa de errores de lecturas de etiquetas en el almacén en un 33% (Johns, 2018) (véase Figura 3.2).

Uno de los beneficios clave de la tecnología AR (Glockner, Jannek, Mahn, & Theis, 2014) en las operaciones de *picking* es la integración de un sistema de manos libres digital e intuitivo que sirve de apoyo a los trabajadores a la hora de realizar las operaciones de *picking* de forma manual.



Figura 3.2: Picking a través de Smartglasses de AR (Geiger, 2018)

El empleo de un sistema de este tipo permite que el operario pueda ver una lista digital en su campo de visión, incluso capacidades de navegación, visualizar la mejor ruta, reduciendo el tiempo de viaje gracias a la planificación de la ruta más eficiente. Mediante un software de reconocimiento de imagen del sistema (tipo Knapp KiSoft) se puede comprobar si el trabajador ha llegado al lugar correcto, o guiarle para que este localice rápidamente el artículo correcto en un estante determinado (Glockner, Jannek, Mahn, & Theis, 2014).

La tecnología AR también contribuye en la planificación de los almacenes y así lo contempla DHL en su informe “*Augmented Reality in Logistics changing the way we see logistics – a DHL perspective*” (2014). Se puede emplear AR para visualizar todo tipo de reorganizaciones planificadas de cualquier centro de distribución, lo que permite colocar representaciones digitales interactivas de la idea propuesta, por ejemplo, distribuciones en planta de almacenes.

En cuanto a la logística de transporte, en ocasiones la congestión del tráfico impide el buen funcionamiento de muchos procesos, como las entregas de pedidos a los clientes o centros de distribución. Se están desarrollando sistemas que faciliten y mejoren esta problemática, como la utilización de un soporte de datos de tráfico en tiempo real para optimizar rutas o recalcularlas, incluso el empleo de gafas AR, implantadas en los parabrisas del vehículo, que sean capaces de mostrar información en tiempo real al conductor como la temperatura de carga, el tráfico, sistema de navegación, etc. (Glockner, Jannek, Mahn, & Theis, 2014).

Los dispositivos AR se pueden utilizar en las operaciones de carga de productos en los vehículos (Glockner, Jannek, Mahn, & Theis, 2014), reemplazando a los impresos o instrucciones de carga. El operario responsable de realizar esta operación podría obtener información en tiempo real en su dispositivo AR sobre que pallet carga en que vehículo y dónde colocarlo dentro del vehículo, mediante instrucciones de carga, con flechas o resaltando las áreas objetivo dentro del vehículo.

Existen algunas aplicaciones de servicios de paquetería mejoradas gracias a la implementación de AR, permitiendo a los clientes tener un dispositivo con capacidad para escanear la medición

de los productos a enviar, y estimar el peso para establecer el tamaño perfecto de la caja de precio más bajo de su proveedor de logística. Esta aplicación puede mostrar diferentes envíos.

En DHL disponen de una aplicación que permite al usuario imprimir una hoja que contiene un código QR, de forma que empleando una webcam se puede visualizar hologramas de las cajas disponibles y será el cliente quien elija la caja disponible de acuerdo con el tamaño del producto (Glockner, Jannek, Mahn, & Theis, 2014).

Como se ha expuesto en este apartado, varios son los procesos logísticos controlados mediante dispositivos que emplean AR. El éxito de su innovación no es otro que la estrecha colaboración con empresas emergentes en esta área y sector, institutos de investigación y universidades.

3.3. RFID

Las redes de sensores inalámbricos (Genovesi, et al., 2017) son cada vez más importantes en una amplia gama de aplicaciones que abarca desde la domótica y tratamientos médicos hasta entornos industriales y monitoreo de infraestructura.

El RFID (*Radio Frequency Identification*) se está materializando en los últimos años como una de las tecnologías más potentes para la identificación y control de trazabilidad de productos. Para la identificación de productos (Zhong, Lan, Dai, & Huang, 2016), existen tres métodos generales: técnicas de mantenimiento de registros de forma manual, lo que se conoce como el empleo de “papel y lápiz”; técnicas de código de barras utilizando etiquetas impresas en papel o plástico, lectores láser y ordenadores para la lectura de las etiquetas y almacenamiento y registro de los datos leídos; técnicas de identificación por radiofrecuencia, RFID, mediante transpondedores de radio empleados para la lectura.

Los métodos tradicionales son laboriosos y, aunque fueron los primeros que se utilizaron, continúan usándose en la actualidad. El empleo de código de barras se convirtió en el método dominante frente a los métodos tradicionales debido a su precisión y facilidad de uso. No obstante, el empleo de la lectura de código de barras exige entornos limpios con una línea de visión directa desde el lector, y este se debe ubicar próximo a la etiqueta. Sin embargo, el método que predomina en el mercado en la actualidad es el RFID.

El desarrollo de las técnicas de radiofrecuencia (RF) ofrecen ventajas frente a la identificación mediante código de barras. En la lectura no interfiere el estado del entorno. En general, un sistema RFID siempre se compone de dos elementos: el transpondedor, que se encuentra en el objeto a identificar, y el detector o lector, que, dependiendo del diseño y la tecnología utilizada, podrá ser un dispositivo de lectura o escritura/lectura.

Un lector normalmente contiene un módulo de alta frecuencia (transmisor y receptor), una unidad de control, y un elemento de acoplamiento al transpondedor. Además, muchos

lectores están equipados con un interfaz adicional para permitirle reenviar los datos recibidos a otro sistema como puede ser un PC, sistema de control robot, entre otros.

El transpondedor, que representa la carga real de datos del sistema RFID, consiste en un acoplamiento entre el elemento y un microchip electrónico. Cuando el transpondedor, que no suele poseer su propia batería, no está dentro del rango de respuesta de un lector, se encuentra en estado pasivo (Zhong, Lan, Dai, & Huang, 2016). El transpondedor solo se activará cuando está dentro del rango de respuesta de un lector. Los sistemas RFID transportan datos en transpondedores adecuados, como etiquetas generalmente, y recuperan datos.

En definitiva, la tecnología RFID ofrece numerosas ventajas (Zhong, Lan, Dai, & Huang, 2016): lectura omnidireccional, ciclos de lectura cortos, etiquetas regrabables y una capacidad de almacenamiento de las mismas elevada. Las etiquetas regrabables abren la posibilidad de una gestión descentralizada de los datos: la información específica del objeto puede almacenarse, actualizarse y recuperarse en cualquier momento en el transpondedor sin necesidad de conectarse a un sistema superior.

Esto quiere decir que los objetos equipados con transpondedores RFID pueden rastrearse a lo largo de toda la cadena logística o de producción. Por ejemplo, se puede controlar el proceso productivo desde un punto de vista calidad, que todas las operaciones y fases necesarias en el proceso se lleven a cabo mediante un registro de trazabilidad o paso por puesto del producto (véase Figura 3.3Figura 3.3), es decir, *"identificar y trazar una unidad concreta de cualquier producto como si de su documento de identidad personal se tratase"* (De los Ríos, 2019)

Estas etiquetas no requieren contacto visual, permite que entre el lugar de lectura y el objeto existe una gran distancia, su uso es fiable incluso en condiciones del entorno difíciles (elevado ruido, vibraciones, oscuridad, ...). Por ejemplo, con temperaturas de -40°C y formación de hielo, o cuando los objetos que deben identificarse están sometidos a elevadas tensiones mecánicas.

Las tecnologías ópticas (lector de código de barras) siempre requieren una conexión visual para detectar el código, por ello, son más propensas al desgaste o a la suciedad, por lo que también requieren más mantenimiento que un sistema basado en RFID.

Existen sistemas RFID sin necesidad de un chip (Genovesi, et al., 2017), cuyo aspecto más significativo es que la etiqueta consiste en codificar la información en su huella electromagnética sin necesidad de ningún circuito integrado (IC).

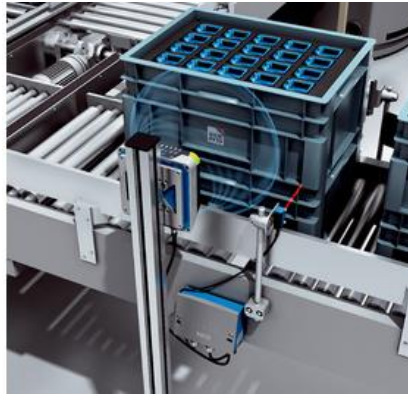


Figura 3.3: Lectura mediante sistema RFID (Sick, 2018)

Inditex (EFE, 2016), empresa líder en el sector textil, fabrica más de mil millones de prendas al año con cincuenta mil referencias diferentes. Por ello, uno de los compromisos de la organización es garantizar al cliente en todo momento el producto demandado, es decir, que el producto esté trazado desde la orden de pedido realizada por el cliente hasta la llegada del producto al mismo. Para conseguir esto, en 2016, el grupo textil desarrolló un sistema RFID personalizado para sus necesidades.

Mediante la asignación de un código o “matrícula” a cada producto permite el control unitario de cada uno. El objetivo de esta implementación no es otra que poder localizar en tiempo real donde se encuentra el producto que el cliente ha demandado; de esta forma, el proceso logístico se optimiza permitiendo realizar las entregas a los clientes en cualquier tienda del grupo en un máximo de 48 horas.

El chip que contiene toda la información del producto para el sistema RFID está personalizado para el grupo Inditex, de tal forma que en cuanto el producto se lee en caja y se realiza el pago, los datos del chip son borrados. Esto permite reutilizar códigos de prendas para otras nuevas. No obstante, esta tecnología se emplea para controlar la distribución a un nivel de detalle exhaustivo de aquellos productos “perdidos”, fruto de hurtos por parte de clientes, empleados, fraudes de proveedores o simplemente algunos errores de gestión que suponen a la compañía una reducción del 0,8% de las ganancias obtenidas de sus ventas totales.

De la mano de Inditex, se encuentran las compañías Decathlon y El Corte Inglés (ECI), empresas que están haciendo frente al comercio online y la logística inversa empleando la tecnología RFID (Dipole, 2018). Como ya se ha comentado en párrafos anteriores, la satisfacción del cliente y la rapidez en la entrega de los pedidos realizados priman en la gestión del comercio online. Por ello, la visibilidad de los productos y trazabilidad de los mismos a lo largo de la cadena de suministro cobra especial importancia (véase Figura 3.4).

Gracias al empleo del RFID, ECI y Decathlon son capaces de controlar las recepciones de productos y expediciones, los movimientos entre las tiendas, inventarios logísticos, devoluciones, tomando el dominio de sus procesos logísticos.



Figura 3.4: Trazabilidad producto a lo largo de la cadena de suministro median RFID (Dipole, 2018)

En definitiva, el RFID no solo garantiza la trazabilidad de productos, sino que optimiza la cadena de suministro, obteniéndose así un rendimiento para las organizaciones.

3.4. DRONES

Drone Delivery o entrega de pedidos mediante drones, surge como una nueva tecnología capaz de suponer un punto de inflexión en el área logística. El dron presenta la configuración y prestaciones idóneas para superar la infraestructura del transporte tradicional (Scott & Scott, 2017). La entrega de drones es vista como una posible solución a los problemas de las ciudades futuras: la alta demanda de entregas, plazos de entrega cortos y congestiones de tráfico complejas.

Los drones o vehículos aéreos no tripulados (en inglés, *Unmanned Aerial Vehicles*, UAVs) no solo resultan efectivos en las entregas de productos a los clientes de las empresas sino también a nivel humanitario: por ejemplo, han demostrado ser muy útiles en la entrega de suministros médicos, así como para encontrar a personas heridas (Alwater, Loke, & Rahayu, 2018).

Muchas son las aplicaciones para las que se emplean los drones, además de las comentadas en el párrafo anterior: por ejemplo, en el campo de la milicia en combate; para la vigilancia de incendios, vigilancia y fumigación en el campo de la agricultura; vigilancia de disturbios y fronteras internacionales por parte de la policía y gobiernos, entre otras (Alwater, Loke, & Rahayu, 2018). El dron puede o no portar cámara de vigilancia para transportar cargas si estas son pequeñas.

Con el fin de comprender como funcionan estos dispositivos, la Figura 3.5 muestra un área experimental de servicio donde los clientes están ubicados y el punto de partida para las operaciones llevadas a cabo por los drones: la base o estación. Para llevar a cabo la entrega de productos, se necesita disponer de un dron, un controlador y el cliente que demande el producto.

En 2017, Amazon realizó más de cinco mil millones de entregas a los clientes de Prime. Como ya se apuntó en el capítulo 2, el tiempo es dinero, e incurrir en costes logísticos por aumentar los tiempos de entrega es algo bastante frecuente en las empresas del sector logístico. Por ello, Amazon invierte en los drones para que las entregas sean lo más rápidas posibles, incluso inferiores a 30 minutos (Desjardins, 2018).

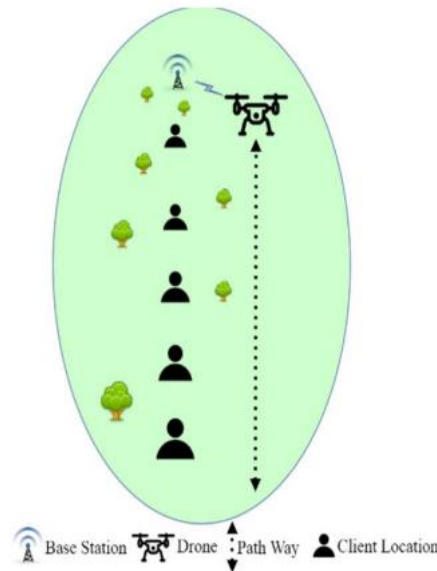


Figura 3.5: Área de estudio para un dron (Alwater, Loke, & Rahayu, 2018)

Los drones de Amazon (véase Figura 3.6), o también conocidos como los vehículos aéreos no tripulados, componen una flota con la tecnología de funcionamiento automática, de tal forma, que los drones podrán funcionar sin la necesidad de un “piloto humano”, es decir, evitar colisiones o chocar contra objetos, animales, edificios, postes de luz, líneas eléctricas, con el propósito final de entregar su paquete de manera segura y rápida.



Figura 3.6: Reparto mediante drones (Desjardins, 2018)

En 2013 Amazon anunció el proyecto Prime Air (Burke, Nguyen, Magilligan, & Noorani, 2019), muchos fueron los que criticaron inicialmente esta idea. Sin embargo, Amazon se está posicionando como una de las primeras empresas logísticas en el mundo a nivel de

rentabilidad, competitividad e innovación. La fuerte inversión económica que realiza en este último campo es la que le permite despuntar sobre el resto de organizaciones del mercado.

Amazon considera los drones de entrega de pedidos como una oportunidad no solo para aumentar la velocidad de entrega de cara al cliente, sino también para aumentar la seguridad y la eficiencia del sistema de transporte, ya que permite reducir el tráfico vial.

Los drones podrán entregar paquetes que pesen en torno a 2,5 kg en 30 min o incluso menos tiempo. Amazon está realizando varios test de envío y pruebas con diferentes tipos y modelos de drones en función del producto transportado. Los envíos que actualmente se están desarrollando en Reino Unido se realizan durante el día cuando la visibilidad es buena y las condiciones climatológicas son estables, pero se están planteando futuras pruebas en las que el transporte de pedidos mediante drones será en condiciones de hielo, lluvia y nieve, empleando así modelos de drones diferentes y aptos para estas condiciones climatológicas.

¿Cuándo Amazon Prime Air estará disponible para sus clientes? Actualmente, Amazon no ha proporcionado una fecha, pero lo que sí que es cierto que en aquellos países con centros de desarrollo Prime como son Estados Unidos, Francia, Austria, Reino Unido e Israel, el lanzamiento está más cerca que nunca. Las pruebas realizadas en Reino Unido han favorecido el concepto de esta tecnología emergente. Los expertos en este área, predicen que Amazon podría estar listo para lanzar Prime Air en 2020 (Midrack, 2019).

Otra funcionalidad que se está desarrollando en el sector logístico gracias al empleo de los drones es la *gestión de los inventarios* en los almacenes de las organizaciones. Muchas de las compañías apuestan por esta tecnología para la gestión del inventario por las numerosas ventajas inherentes a su aplicación. El método tradicional para la gestión de inventario es totalmente manual, de tal forma que el encargado de realizar dicha tarea es un operario, y para acceder aquellas estanterías de mayor altura tiene que usar una carretilla elevadora, por lo que este método lleva a equivocaciones, inexactitudes en la contabilidad del inventario, afectado de manera directa a la disponibilidad del stock, movimiento y ordenación (Companik, Gravier, & Farris, 2018).

Por el contrario, un dron sigue una trayectoria de vuelo definida por el usuario evitando interferencias con obstáculos, además de estar equipado con cámaras y sensores de última generación, para navegar de forma autónoma y realizar operaciones de búsqueda, permitiendo así mejorar el control de los inventarios.

Una de las empresas que ha despuntado en este campo es GEODIS junto con la colaboración de la empresa desarrolladora de drones Deltadrone (Dufour & Gacoin, 2018), que tras dos años de desarrollo de prototipos para la aplicación de la tecnología, ha conseguido realizar un inventario en los almacenes totalmente automático, gracias al empleo de los drones. La compañía ha necesitado más de mil horas de vuelo en tres almacenes diferentes con el prototipo diseñado para llegar a la solución final a implantar, conseguir un almacén totalmente automático.

La ventaja obtenida ha sido la ganancia en la productividad generadas al realizar inventarios fuera del horario de funcionamiento del almacén, dotando de mayor seguridad en el trabajo para los empleados y una mayor confiabilidad del inventario.

En España, la empresa logística GEFECO y la empresa desarrolladora de drones AIRDRONE LOGISTICS han colaborado de manera conjunta en un proyecto para el empleo de drones en las tareas de realización de inventario en sus almacenes. Las ventajas son las que hemos comentado en párrafos anteriores. Gracias al empleo de los drones, la realización de inventario completo se realiza entre cuatro y siete veces más rápido que empleando el método tradicional y la sostenibilidad con el medio ambiente, reduciendo la emisión de gases reemplazando el empleo de elevadores (GEFECO, 2019).

La empresa francesa Renault Trucks también se ha sumado a esta iniciativa implantando drones para la gestión de sus almacenes en la planta de Lyon, de tal forma que el dron es capaz de mapear el plan de vuelo integrado y contabilizar el inventario escaneando los códigos de barras de los palés utilizando tres escáneres en su parte frontal, siendo capaz de realizar el inventario de una ubicación en seis segundos, esto es diez veces más rápido que con un sistema tradicional. También toma fotografías de la ubicación, permitiendo visualizar el estado de los paletas (Renault, 2019).

En definitiva, las ventajas de esta tecnología son la mejora en la eficiencia operativa y la seguridad, eliminando posibles riesgos para los trabajadores, y aumenta la precisión de recuento de inventario mejorando la confiabilidad del stock y la calidad de servicio.

3.5. BLOCKCHAIN

Los sistemas de cadena de suministro tradicionales se están convirtiendo en un legado frente a los nuevos sistemas automatizados con el advenimiento de la tecnología. El uso de hojas Excel para actualizar los datos de la etapa actual en la cadena de suministro deben ser reemplazados por sistemas más automatizados que requieran menos recursos humanos en su intervención. La automatización, en sí misma, requiere un sistema que almacene y gestione los datos con el menor uso posible de a mano de obra.

Los actuales sistemas involucrados en la gestión de la cadena de suministro son, de hecho, sitios web alojados en servidores de la compañía que contienen los datos clave en relación con los procesos en curso recientes y actuales de cada etapa de la cadena de suministro (Naidi, Mudliar, Naik, & Bhavathankar, 2018). Las personas que trabajan en diferentes etapas tienen que usar el mismo portal website para actualizar o completar los metadatos del proceso.

El Blockchain o cadena de bloques es una base de datos almacenada en múltiples equipos, en donde cada entrada en la base de datos se llama bloque y cada bloque se identifica con una marca de tiempo (*timestamp*) y se vincula a un bloque anterior (Nakasumi, 2017). En la Figura 3.7 se muestra la diferencia entre una base de datos distribuida frente a una centralizada.

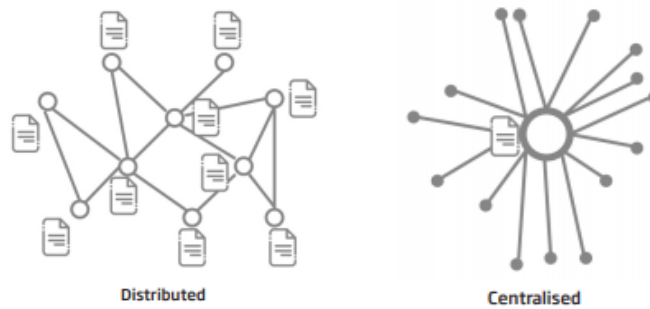


Figura 3.7: modelo distribuido Blockchain vs. Centralizado (tradicional) (Sánchez, Cuenca, & Puertas, 2017)

Esta tecnología emergente permite transformar los modelos de negocios ya existentes, ya que permite funcionar a las *criptomonedas* como son el Bitcoin, Ether, Litecoin, ... Para las transacciones, la Figura 3.8, muestra de manera esquemática las etapas que tienen lugar mediante el empleo del blockchain:

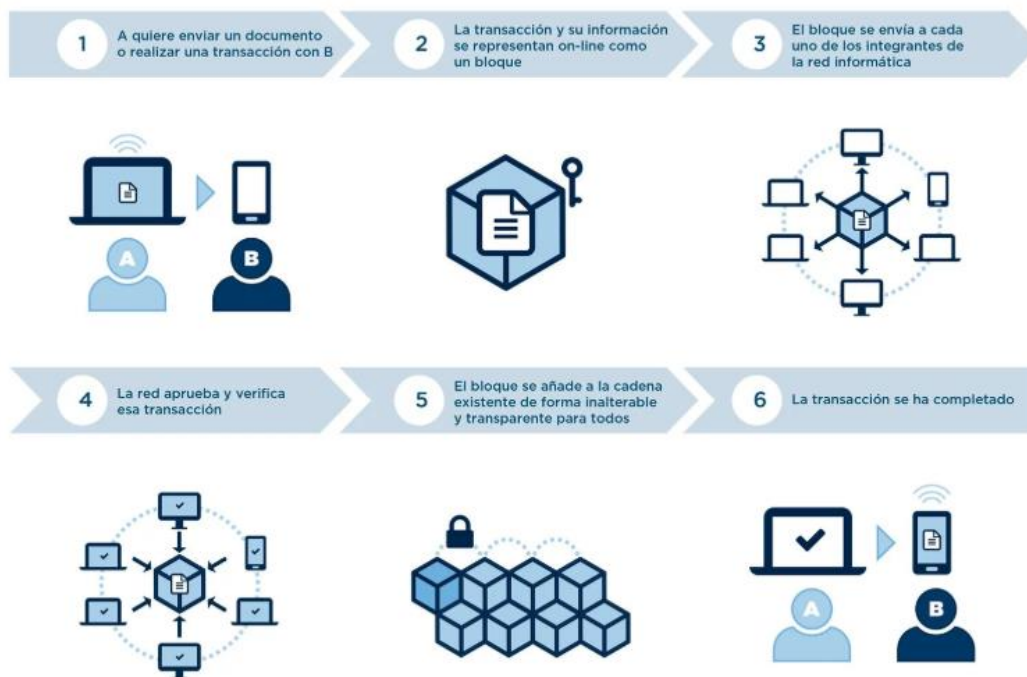


Figura 3.8: Etapas en una transacción empleando Blockchain (stocklogistics, 2018)

El Blockchain se caracteriza por su seguridad en cuanto al almacenamiento masivo de datos, puesto que no existe una base de datos central que pueda ser *hackeada* como en los sistemas de gestión de la cadena de suministro que constaban de un único servidor, y muchos serán los usuarios que puedan agregar entradas y acceder a la base de datos pero no puedan cambiar ni eliminar ninguno de los bloques existentes (Sánchez, Cuenca, & Puertas, 2017).

Las principales características del Blockchain son (Sánchez, Cuenca, & Puertas, 2017): el *ledger distribuido* o libro mayor distribuido que comprende toda la información de la base de datos protegida criptográficamente, en donde todos los bloques tienen una copia de la información almacenada. La segunda característica es el desempeño en un *entorno de colaboración* en donde se consigue reducir la fricción entre los diferentes integrantes de la base. La *transparencia del sistema* y la confianza de los participantes son otras de las ventajas de esta tecnología, ya que todas las transacciones son registradas y se podrían consultar públicamente, pudiendo realizar un seguimiento de la red. Y, por último, es un *sistema inmutable* donde no se pueden modificar las transacciones una vez realizadas por parte de ningún integrante de la red.

Entre las aplicaciones del blockchain (Sánchez, Cuenca, & Puertas, 2017) destaca el sector *servicios financieros*, ya que la banca es uno de los sectores que está apostando más por el blockchain; en concreto, uno de los usos en los que más se ha avanzado es el de los pagos transnacionales. La tecnología blockchain permite a las organizaciones almacenar de forma segura y controlar toda la información relacionada con el envío, dejando un rastro inmutable de eventos (Nakasumi, 2017).

Por ello, la aplicación de esta tecnología en el sector logístico dotará a las compañías de una transparencia que permita rastrear cualquier envío, así como prevenir el robo. Puesto que toda la información debe ser y estar registrada, transacciones o transferencias de bienes se dejaría trazado tanto el precio, como la fecha, la ubicación calidad y el estado del producto.

Además, también se incurriría en una mayor eficiencia y reducción de costes gracias a esta tecnología ya que permitirá que los pedidos se preparen y entreguen más rápido, de tal forma que se pueda registrar la transferencia de materias primas y bienes a medida que estos se mueven en la cadena de suministro.

El seguimiento de las órdenes de envío y de compra, las notificaciones y recibos forman parte de la implementación de la tecnología blockchain en la logística, de tal forma que se pueda asignar un código de barras o un número de identificación a los productos que puedan rastrearse, evitando cualquier tipo de error humano al que se incurre con los sistemas tradicionales de gestión de información de la cadena de suministro (Maestre, 2018).

Por lo tanto, las principales ventajas que presenta esta tecnología en el sector logístico son (EAE, 2018): integridad de datos, confiabilidad y seguridad gracias a la transparencia de blockchain, reducción del papel del intermediario, reduciendo el número de operaciones y minimizando los desperdicios, fomento de la economía colaborativa, simplificación del proceso de reclamación y disminución de los costes asociados a las nuevas regulaciones. La Figura 3.9, muestra un ejemplo de blockchain en un sistema de transporte terrestre.

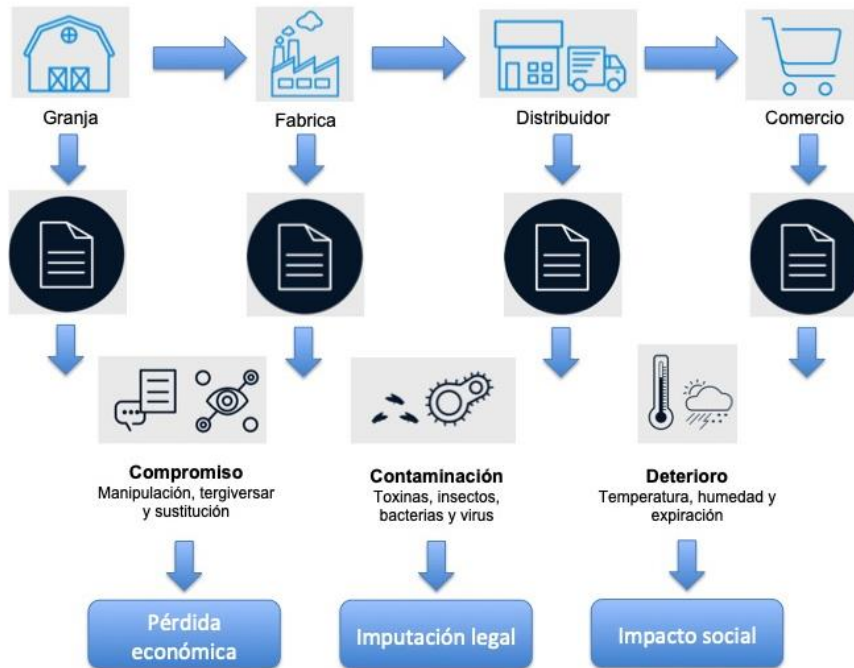


Figura 3.9: Red blockchain en transporte de mercancías terrestre (Maestre, 2018)

La compañía FedEx ha centrado sus esfuerzos en la aplicación de esta tecnología para la optimización de la cadena de suministro (Precision, 2019): el producto que a enviar, presenta una etiqueta o *tag* que contiene información como la fecha de envío, la fecha prevista de llegada y hora, el estado del producto, ... Esta información será almacenada y podrá ser consultada por cualquiera de los participantes en la cadena de suministro (fabricante, cliente, servicio de entrega, en este caso, la empresa FedEx, el conductor de la entrega, ...).

Esto ha permitido a la compañía dotarla de transparencia en cuanto a la información de los envíos y un control prácticamente total en su trazabilidad. Gracias al control y seguimiento del producto facilitado por la aplicación del blockchain, FedEx ha reducido la tasa de robos y fraudes en sus transacciones y entregas, ya que en cada punto de entrega o recogida el operario, transportista o encargado de dicha tarea debe enviar un acuse, denominado *hash*, dejando dicha operación reflejada en la base blockchain.

En el sector alimentario, Nestlé es una de las empresas que ha apostado por la tecnología blockchain, junto con Carrefour, para la mejora de la trazabilidad de la cadena de suministro en el área de productos de comida para bebés. En 2017, comenzó a desarrollar en su proceso de suministro esta tecnología de la mano de IBM Food Trust, cuyo objetivo es reforzar la trazabilidad de los productos alimenticios y la transparencia proporcionando información precisa, fiable e imparcial y favoreciendo a todos los integrantes en la cadena de suministro. Así lo afirma la vicepresidenta senior de Global Supply Chain en Nestlé (Fené, 2019).

Mediante el empleo de un código QR en el envase del producto, cualquier consumidor conocerá, mediante una aplicación en su teléfono móvil, toda la información sobre la cadena

de suministro: la producción, transporte, calidad, lugares en los que ha estado, fechas de almacenamiento y recogida, etc.

La compañía Maersk, especializada en el transporte marítimo, junto con la colaboración de IBM (White, 2018), también se suma a la aplicación de blockchain para la logística en el comercio marítimo con el fin de mejorar el coste del transporte y la trazabilidad de los contenedores transportados. En enero de 2018 se establecieron las bases de dicho proyecto entre ambas organizaciones.

En definitiva, son muchas las compañías y organizaciones que están poniendo en ejecución proyectos empleando la tecnología blockchain permitiendo ofrecer nuevos modelos descentralizados que disminuyen los costes y mejoran las interacciones digitales mediante la participación de dispositivos, sistemas y organizaciones.

3.6. ROBOTS INTELIGENTES

Debido al desarrollo de la inteligencia artificial, el *Machine Learning*, el procesamiento del Big Data y otras tecnologías emergentes, los robots inteligentes están cobrando más atención que nunca por parte de las compañías. Los robots industriales se han aplicado para desempeñar tareas que antes realizaba el hombre y han permitido, en gran medida, mejorar la eficiencia de los sistemas productivos y de la producción en sí (Liu & Zhu, 2017).

La interacción hombre-máquina es una tecnología clave para desarrollar el servicio de los robots. En los sistemas de robot de servicio, es necesario proporcionar una función de interacción de voz inteligente, que es capaz de ayudar y apoyar a las personas como asistente personal inteligente. Por ejemplo, Siri en Apple y Cortana por Microsoft son asistentes personales inteligentes. Sin embargo, solamente son teléfonos inteligentes, Smartphones, y no se pueden mover ni tocar a las personas, como los humanos (Liu & Zhu, 2017).

Otro ejemplo son los robots de juguete que pueden caminar y moverse como una persona, incluso pueden bailar y cantar rápido y presentan una estructura relativamente ligera, pero son capaces de tener solo una conversación simple y se encuentran bastante lejos de llegar a ser robots inteligentes.

La tecnología robótica está experimentando avances en el mundo de la logística, optimizando la gestión de los almacenes o incluso ayudando con la entrega final al cliente. Los trabajadores logísticos se beneficiarían de colaborar con robots, mientras que los clientes, al mismo tiempo, experimentarán un servicio más rápido y de mayor calidad.

En mayo de 2016, el “*plan de desarrollo de la industria de robots (2016-2020)*” desarrollado por China, señaló que es necesario centrarse en la producción inteligente y logística inteligente. Con esta política, las empresas involucradas en el campo de la logística han

invertido en el desarrollo de la tecnología de los AGV, convirtiéndose así en la clave de la logística inteligente (Li, Yan , & Li, 2018).

Los AGV son sistemas flexibles e inteligentes con guiado automático. Gracias a la tecnología, este sistema puede realizar la tarea logística de manera autónoma sin intervención manual. El AGV ha sido ampliamente utilizado en el campo de la automoción logística, mejorando la información logística y el nivel de gestión logístico inteligente. En China, con el rápido desarrollo del sistema de logística inteligente, el ámbito de aplicación de AGV también se ha ampliado.

En definitiva, un AGV es un vehículo de transporte que está equipado con dispositivo de guía automático, electromagnético u óptico. Presenta una variedad de funcionalidades, como la interacción hombre-computadora, planificación y ejecución de tareas, posicionamiento y control de navegación, gestión de energía, información de la seguridad rápida y evitan los obstáculos.

A comienzos del año 2018, “Nuro”, una empresa robótica cuya sede se encuentra en Silicon Valley, anunció el lanzamiento de un vehículo no tripulado completamente automático. Aunque el producto no está diseñado para parques de baja velocidad, se puede conducir en carreteras terrestres de las principales ciudades. El robot se centró inicialmente en la entrega de bienes, por lo que el diseño del mismo se ha optimizado, dotándolo de mayor ligereza y eficiencia (véase Figura 3.10).



Figura 3.10: AGV diseñado por Nuro para la entrega de productos (Li, Yan , & Li, 2018)

La configuración del software de los AGV debe soportar la planificación de la ruta, el diseño de procesos, la simulación de sistemas para todo el proceso de implementación del sistema en sí.

La empresa de automóviles Tesla también destaca por su implicación con la tecnología en el sector de la automoción. Su objetivo es desarrollar un coche autónomo cien por cien, y no va descaminada (Ximénez, 2019). El presidente ejecutivo de la compañía, Elon Musk, aseguró que para el 2020, saldrá al mercado un coche totalmente autónomo que dispone del hardware

necesario para conducir solo sin precisar ni de volante ni pedales. La ventaja que presenta TESLA frente a otras compañías del sector, es que han desarrollado una tecnología propia.

Por ello, el pronóstico para este tipo de robots inteligentes es favorable y prometedor, de hecho, en China el International Data Corporation (IDC) pronostica que el 35% de las empresas líderes en el sector logístico intentarán automatizar sus operaciones con robots a partir de 2019 (Li, Yan , & Li, 2018). Como ya se ha comentado en capítulo anterior, la logística es una parte importante de la economía nacional de un país, el rápido crecimiento y aplicación de la industria AGV puede mejorar sustancialmente la eficiencia operativa del sistema logístico, aportando así en el desarrollo de la logística inteligente.

Los almacenes parecen ser el escenario más idóneo para la explotación de los robots inteligentes. Por ello, muchas empresas están desarrollando sus propias máquinas para automatizar las tareas rutinarias en este tipo de entornos (Knight, 2018).

Si nos centramos en los robots capaces de manipular y trasladar objetos de un lugar a otro sin sufrir ningún tipo de deterioro, destaca el robot “*recolector de dedos ágiles*” desarrollado por Ken Golberg y su grupo de investigación de la Universidad de Calidad en Berkeley (Knight, 2018), que se compone de un brazo robótico capaz de recoger una amplia variedad de productos de diferentes formas y configuraciones. Este robot aprendió a realizar los movimientos estudiando una gran base de datos de objetos virtuales.

En 2015, el Grupo BMW comenzó a colaborar con el instituto de investigación Fraunhofer Institute IML para desarrollar los primeros robots de transporte inteligente autónomos, denominados STR (*Smart Transport Robots*). Actualmente, se considera una de las organizaciones consolidada en este ámbito, ya que su logística de producción emplea no solo robots, sino sistemas de transporte autónomos (Johns, 2018).

El Grupo BMW ha presentado cuatro robots de transporte con funcionalidades de navegación autónomas (BMW Group, 2019), que actualmente ya están integrados en su cadena producción en serie. Uno de los robots se denomina *Stationary SplitBots*, capaz de recoger cajas del pallet y colocarlas en una cinta transportadora con destino al almacén. Su instalación está prevista en 2019 en la planta del Grupo BMW en Dingolfing.

También ha implementado los *Autonomous Tugger Train*, esto es, los trenes de remolque autónomo que se emplean principalmente en la logística de montaje, los cuales se guían mediante unas señales láser para navegar de manera autónoma e independiente a través de las plantas de producción (véase Figura 3.11) (BMW Group, 2019).



Figura 3.11: Autonomous tugging train (BMW Group, 2019)

El *Smart Transport Robots* (Robot de Transporte Inteligente) capaz de transportar componentes que pesan hasta media tonelada desde un punto A hasta otro de destino B (véase en la Figura 3.12). Una vez que los transmisores inalámbricos han determinado su ubicación, pueden calcular la mejor ruta de destino por sí mismos. Además, presentan una autonomía de ocho horas gracias a las baterías BMW i3 recicladas.



Figura 3.12: Smart Transport Robots de Group BMW (BMW Group, 2019)

4. LA I4 APLICADA A LA LOGÍSTICA - PARTE II

En este capítulo, se continuará exponiendo las diferentes tecnologías de la I4, tanto su fundamento como su aplicación en el sector logístico.

4.1. MACHINE LEARNING

El aprendizaje es un proceso de adquisición de conocimientos con propósito específico. El comportamiento interno es adquirir conocimiento, ganar experiencia, descubrir las leyes. Se debe mejorar el rendimiento del sistema, adaptarse al entorno para lograr un sistema capaz de auto mejorarse (Calvo, Guzmán, & Ramos, 2018).

El Machine Learning (ML), o aprendizaje automático, está experimentando un crecimiento exponencial en diversas áreas, tanto en el mundo académico y de investigación como en el empresarial, suponiendo así un pilar fundamental en la transformación digital de la industria y de nuestros mercados. Según K. Murphy (2012) se define Machine Learning como “*un conjunto de métodos capaces de detectar automáticamente patrones en los datos*”. Es decir, utilizar patrones detectados para tomar decisiones en entornos en los que la incertidumbre juega un papel significativo.

En (Calvo, Guzmán, & Ramos, 2018) se define el Machine Learning como “*un conjunto de métodos capaces de detectar automáticamente patrones en los datos, y usarlos para predecir sobre datos futuros o bien para llevar a cabo otros tipos de decisiones en un entorno de incertidumbre*”, siendo esta una definición menos formal. En definitiva, las técnicas de Machine Learning partirán de un conjunto de datos observados para obtener reglas de clasificación o patrones de comportamientos.

El Machine Learning se considera (Lv & Tang, 2011) como una rama o parte de la inteligencia artificial, basada en que los sistemas son capaces de aprender mediante los datos, identificando patrones y tomando las decisiones correctas sin la intervención humana, es decir analizar datos para tomar decisiones.

Los componentes de Machine Learning se pueden agrupar en (Calvo, Guzmán, & Ramos, 2018): las *fuentes de información*, que reflejan la experiencia de la que se aprende, por ejemplo, datos estructurados, bases de datos, sistemas de ficheros, etc., o también pueden ser datos no estructurados como *mailling*, CRM, voz, etc.; las *técnicas y algoritmos* que se relacionan con las tareas a ejecutar como son las técnicas para el tratamiento de la información no estructurada, como la simulación, optimización, modelos estocásticos, ...; y, por último, el uso de *sistemas y software* para visualizar la información, como visual *Analitics*, *Tableau* o *QlikView*, y programación como *Python*, *SQL* o *Java Matlab*. La Tabla 4.1 muestra

las diferencias entre un modelo Machine Learning y un modelo de aprendizaje tradicional, según lo descrito en párrafos anteriores:

Tabla 4.1: Diferencias entre el modelo ML y modelo tradicional (Calvo, Guzmán, & Ramos, 2018)

Descripción	Modelización tradicional	Machine Learning
Fuentes de información	Datos estructurados Número reducido de fuentes de datos Limitadas por el diseño inicial, estructura y procesos internos de obtención de la información Actualizaciones no continuas y planificadas	Datos estructuras y desestructurados Múltiples fuentes de datos Externas de fácil acceso y en continuo crecimiento Actualización continua y en tiempo real de los datos
Técnicas y algoritmos	Fundamento estadístico y matemático Limitación en los patrones y relaciones identificadas debido a la asunción de hipótesis previas Usos de métodos deductivos	Fundamento estadística y matemático y la inteligencia artificial Identificación de patrones ocultos en los datos sin asumir hipótesis previas Uso de métodos inductivos
Aprendizaje	Reentrenamiento manual y planificado Hipótesis predefinidas o conocimiento previo de las relaciones entre variables Reducción del poder predictivo a lo largo del tiempo por el anclaje a una ventana temporal Trazabilidad disponible	Reentrenamiento automático y auto-aprendizaje Búsqueda de patrones y relaciones sin restricciones Mantenimiento del poder predictivo a lo largo del tiempo por la adaptación de la ventana temporal Trazabilidad no asegurada
Sistemas Software	Mayor requerimiento computacional Herramientas tradicionales Uso único de repositorios de información estructurada Datos desestructurados vistos como archivo sin valor	Mayor requerimiento computacional y velocidad de procesamiento y capacidad de gestión de datos Combinación de herramientas Almacenamiento y uso de <i>Data Lakes</i> que combinan datos estructurados y desestructurados

En cuanto a las técnicas de Machine Learning, existen una gran variedad dependiendo del tipo de información que se trate, estructurada o desestructurada, y del paradigma de aprendizaje en el que se utilicen. La selección de técnicas a aplicar dependerá de varios factores, entre los que predomina el tipo de modelo que se quiera construir y el tipo de información disponible.

A continuación, se exponen algunas de estas técnicas en función de la información empleada. En *el aprendizaje supervisado* la información necesaria para construir el algoritmo contiene información sobre las características en estudio, es decir, la información que se quiere predecir está disponible en los datos empleados para construir el modelo.

A diferencia del caso anterior, en el *aprendizaje no supervisado* no se dispone de la muestra de construcción de la información de la variable a predecir y, por lo tanto, no se dispone de la variable output o de salida. En esta técnica, el objetivo será encontrar patrones o relaciones en los datos. Por esta razón, también es conocida como *knowledge Discovery* (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015). Dentro del Machine Learning, cuando se realiza el proceso de modelación, primero se plantea y lleva a cabo el *knowledge Discovery*, siendo la primera fase de todo el proceso de modelización, dentro de la cual, se llevan a cabo las siguientes tareas (Calvo, Guzmán, & Ramos, 2018):

- El entendimiento de los datos como la preparación inicial y el análisis descriptivo de los datos, obteniendo así análisis de calidad de la información.
- La preparación de los datos y su tratamiento empleando el análisis multivalente, combinando o creando nuevas variables a partir de las ya existentes y reduciendo el número de variables eliminando aquellas que son redundantes.
- Y, por último, la selección de la técnica apropiada y aplicación de procesos de regularización donde se transforman los datos y se preparan para la modelización.

A continuación, se describen las técnicas de Machine Learning dentro de las *técnicas de aprendizaje supervisado*, como son las redes neuronales, las máquinas de vector soporte, los clasificadores bayesianos, o los árboles de clasificación y regresión.

Las *redes neuronales* (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015) se definen como modelos matemáticos multivariantes y no lineales que emplean procesos iterativos con el objetivo final de minimizar una función, la cual será el error entre la estimación y la realidad. La composición de las redes neuronales se basa en un conjunto de neuronas interconectadas mediante nodos y capas, similar a las conexiones que tienen lugar en un sistema nervioso formado por dendritas y axones, a través de los cuales se envía y recibe información

Las *máquinas de vector soporte* (en inglés, *support vector machine*, SVM) se tratan de modelos de clasificación para resolver las dificultades que ocasionan las muestras de datos complejas, por ejemplo, que las relaciones entre los datos no sean lineales (Calvo, Guzmán, & Ramos, 2018).

Los *clasificadores bayesianos* son modelos basados en el Teorema de Probabilidad de Bayes. Mediante el uso de variables explicativas denominadas *priors*, se clasifican las observaciones. Constituye una de las técnicas más simples dentro de Machine Learning aunque, a la vez, de las más robustas.

Por último, los *árboles de clasificación y de regresión* dependiendo del tipo de la variable objetivo, si esta es categórica o continua. Ambas técnicas se encargan de predecir la asignación de muestras a las categorías predefinidas en función de variables predictivas (Calvo, Guzmán, & Ramos, 2018).

En cuanto a las aplicaciones de Machine Learning, empresas de la talla de Netflix y Amazon han desarrollado algoritmos con diferentes funcionalidades basándose en esta tecnología: por

ejemplo, Netflix (Ekanadham, 2018), tras cada recomendación o sugerencia que nos realiza, se ejecuta un algoritmo de aprendizaje automático capaz de tratar y almacenar esa información, de tal forma que el proveedor sea capaz de mostrar los productos más afines al usuario. Esta aplicación no solo es favorable para el usuario del producto en sí, sino que permitió en 2017 un ahorro para la compañía de mil millones de dólares.

En el campo de logística (Gao & Feng, 2009), son cada vez más las empresas que emplean la tecnología Machine Learning para obtener conclusiones e información de gran utilidad como en el caso de la previsión de las demandas, siendo esta una de las tareas más complejas para las organizaciones dentro de la cadena de suministro. El Machine Learning es capaz de aprender de forma gradual qué variables son las que interfieren en el comportamiento de la demanda, adaptándolas a cálculos futuros sin necesidad de que una persona tenga que volver a analizar todo el proceso de nuevo, ante un cambio en cualquiera de las variables.

Sin embargo, no solo se emplea Machine Learning para previsión de demandas sino también para la gestión de rutas (EAE, 2018), optimizándolas mediante la ejecución de algoritmos que permiten determinar las rutas de menor distancia y, por tanto, con un menor coste asociado. La planificación de las rutas puede gestionarse a través de Machine Learning: el navegador es el responsable de indicar por qué ruta se llega antes al destino, evitando atascos o posibles zonas de congestión, o incluso prever las condiciones climatológicas de cada ruta.

El software encargado de estas tareas debe aprender y detectar a qué horas es preferible ir por una ruta, y cuándo se debe decidir escoger otra. También, puede emplearse para plantear sugerencias de productos, optimización de inventarios o en la gestión de almacenes mediante la implantación de sistemas de reconocimiento de objetos.

La empresa de mensajería y paquetería DHL, con más de 500.000 empleados en todo el mundo, apuesta por esta técnica (Gesing, Peterson, & Michelsen, 2018) con el fin de ayudar a la empresa a mejorar sus servicios y ser más predictiva en los procesos. Una de las iniciativas que ha tomado la compañía de acuerdo con esta tecnología es el proyecto *Resilience360*, consiste en una plataforma que gestiona los riesgos dentro de la cadena de suministro.

La configuración de esta plataforma se basa en módulos, entre los cuales, el denominado *Supply Watch*, emplea algoritmos de Machine Learning para analizar y procesar una gran variedad de datos, detectando posibles problemas de los proveedores. *Supply Watch* es capaz de analizar hasta 8 millones de publicaciones al día en línea, de 300.000 fuentes diferentes.

Sin embargo, la compañía no solo ha invertido en ML para el desarrollo de *Resilience 365*, sino que también apuesta por el uso de vehículos autónomos mediante la implementación de algoritmos. Un ejemplo es el robot PostBOT, diseñado para transportar paquetes y realizar envíos de forma autónoma. Otra aplicación es el empleo de *chatbots* a través de algoritmos de Machine Learning, con el fin de dirigirse a los clientes estableciendo conversación, permitiendo así liberar a los representantes de atención al cliente para desempeñar otras tareas de mayor complejidad (Gesing, Peterson, & Michelsen, 2018).

Gracias a la adopción de esta tecnología, la empresa ha permitido aumentar el rendimiento y a capacidad exponencialmente, lo que le permite aumentar los ingresos y reducir costes, consiguiendo ser más eficiente.

La empresa Norteamérica Lowe's (Lowe's, Lowe's Home Improvement, 2016), con la colaboración de Fellow Robot (empresa especializada en este sector de la robótica), presentó en 2016 su robot autónomo denominado LoweBot, (véase Figura 4.1) en once de sus tiendas en el área de la Bahía de San Francisco. LoweBot es capaz de realizar la gestión de inventario de forma autónoma mediante la aplicación de Machine Learning.

Este robot autónomo ayuda a los clientes en la elección de los productos a través de una pantalla que interactúa con ellos, y presenta la capacidad de búsqueda, reconocimiento de voz y sensores láser. LoweBot crea datos empleando la visión artificial y el Machine Learning para escáner los productos y realizar inventarios a tiempo real, lo que permite detectar tendencias o patrones que pueden ser de gran ayuda para futuras decisiones comerciales (Lowe's, 2016).



Figura 4.1: LoweBot, robot autónomo que emplea algoritmos Machine Learning (Lowe's, 2016)

La cadena de supermercados norteamericana Walmart no se ha quedado desbancada en la lucha por la competitividad y desarrollo tecnológico. Walmart emplea Machine Learning para mejorar la gestión de inventarios de sus almacenes, así como para determinar relaciones inesperadas que potencialmente pueden ser una fuente de ingresos y mejoras para la compañía (Walker, 2019): por ejemplo, mediante la implementación de ML, Walmart determinó que existía una relación de interdependencia entre el clima que hacía y el tipo de carne que se vendía en sus establecimientos. Las hamburguesas eran más demandas por los clientes los días secos y calurosos, mientras que los filetes se compraban los días de bajas

temperaturas, vientos y fríos. Gracias a ello, se incrementaron casi un 18% el volumen de ventas de las hamburguesas.

Si hablamos “del grande de la logística”, el compromiso de Amazon con la tecnología Machine Learning es tal que ha desarrollado una plataforma “Amazon Machine Learning”. Un servicio potente que está basado en la nube de datos y permite a los desarrolladores de ML implementar esta tecnología de manera intuitiva sin necesidad de elaborar e implementar los complejos algoritmos. Este asistente permite crear modelos de ML para visualizar tendencias, determinar las preferencias de los clientes. Amazon emplea técnicos de ML para la previsión de la demanda de productos, su búsqueda y la extracción de información de los clientes (Rastogi, 2017).

Machine Learning también se está empleando como herramienta para la predicción de ciberataques en las empresas del sector logístico, permitiendo evitar cualquier tipo de preocupación a las organizaciones, ya que es capaz de detectar ciberataques antes de que se materialicen (Calvo, Guzmán, & Ramos, 2018).

En definitiva, todo este compendio de información se puede tratar con Machine Learning, para obtener una serie de datos y tendencias que puedan emplearse para aumentar el número de ventas de una compañía, reducir el error humano mediante la automatización de los procesos recurrentes y mejorar la eficiencia y la calidad de servicio al cliente.

4.1.1. DEEP LEARNING

El *Deep Learning*, también conocido como el aprendizaje profundo (Li, Li, Zhang, & Pan, 2018), es considerado como un subcampo del Machine Learning, basado en unos algoritmos que presentan una estructura y funcionalidad similar a la del cerebro, las llamadas redes neuronales artificiales. Estos algoritmos inspirados en el cerebro humano aprenden de grandes cantidades de datos.

El Deep Learning (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015) *“es un sistema de probabilidad que permite a modelos computacionales que están compuestos de múltiples capas de procesamiento, aprender sobre datos con múltiples niveles de abstracción”*.

El Deep Learning (Lin, Zhang, Lin, & Chang, 2018) emplea un algoritmo *backpropagation* para encontrar estructuras complejas en grandes conjuntos de datos, de tal forma que la máquina este instruida para saber cómo tiene que cambiar sus parámetros internos para calcular representaciones en cada capa, cada una de ellas basadas en representaciones de la capa anterior.

La red de memoria a largo plazo (en inglés, *The Long Short Term Memory*, LSTM) es una de las estructuras Deep Learning, y una forma especial de redes neuronales recurrentes (RNN), capaces de aprender dependencias a largo plazo (Lin, Zhang, Lin, & Chang, 2018). LSTM está explícitamente diseñada para evitar problemas de dependencia a largo plazo, y funciona

satisfactoriamente en una gran variedad de problemas. Si lo comparamos con el enfoque matemático que tiene un problema logístico, LSTM se emplea para la predicción de series de tiempo, especialmente para la previsión de entregas de pedidos.

En la actualidad, se están creando algoritmos basados en Deep Learning, implementados en dispositivos AR, con el fin de detectar los baches u obstáculos en las carreteras y contribuir a la mejora en las condiciones de transporte en la logística. La empresa Vicomtech ha desarrollado el proyecto “AUTOPILOT” junto con la Universidad del País Vasco (Arriola, 2018), cuyo objetivo es detectar los desniveles que presentan las carreteras.

Mediante la implementación de redes neuronales y la recopilación de un gran conjunto de imágenes, aproximadamente unas 6000, en color, que presentan numerosos tipos de baches en diferentes condiciones climatológicas y de iluminación y en caminos y lugares distintos (véase la Figura 4.2).



Figura 4.2: Detección de baches en carretera gracias al empleo Deep Learning (Arriola, 2018)

En el área de los Sistemas de Transporte Inteligente, el Deep Learning ha cobrado especial relevancia, desarrollando algoritmos que permitan optimizar en tiempo real las políticas de control y gestión de tráfico, procesando señales de tráfico. El objetivo final es encontrar patrones en los datos recopilados para lograr unos sistemas de transporte más conectados (Abduljabbar, Dia, Liyanage, & Bagloee, 2019).

El aprendizaje profundo también se aplica para elaborar procedimientos eficientes con el fin de predecir la demanda de entrega de productos. Una predicción eficiente de la entrega de productos ayudaría a la construcción de un modelo logístico (Lin, Zhang, Lin, & Chang, 2018).

El Deep Learning lo implementan las empresas como una herramienta de ayuda para realizar un seguimiento de las previsiones financieras, el flujo de producción y el procesamiento de los pedidos, permitiendo a las organizaciones; por ejemplo, conocer cuántos pedidos puede atender, o cuanto puede aumentar la producción teniendo en cuenta los costos logísticos de transporte (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015).

En otras áreas de la cadena de suministro, el Deep Learning puede aplicarse en el mantenimiento predictivo de equipos industriales, optimización de rendimiento de los equipos, optimización de inventarios. Amazon ha desarrollado el *Amazon Picking Challenge* (APC) (Zeng, et al., 2017), un almacén de robots totalmente automatizado. Este sistema permite la recogida y colocación de productos en un almacén completamente autónomo, de

tal forma que mediante una visión robusta reconoce y ubica los productos en medio de entorno saturados, con ruido y con una amplia variedad de objetos a tomar o reubicar.

APC se implementa mediante el aprendizaje profundo, concretamente redes neuronales las cuales precisa de una gran cantidad de datos.

4.2. IoT

Con la llegada de la I4 y los sistemas embebidos, los sistemas cibernéticos hacen posible que artículos de carácter relevante para la industria, como pueden ser materias primas, sensores, máquinas, estén conectados entre sí y se comuniquen unos con otros. Además, todos los elementos conectados pueden ser rastreados y monitoreados para permitir a los fabricantes conocer los patrones de datos ocultos y el rendimiento de las operaciones (Lv, Tu, Lee, & Tang, 2018).

El *Internet of Things* o internet de las cosas forma parte del paradigma las tecnologías habilitadoras de la I4. El IoT concibe el futuro próximo como un entorno desarrollado en el que los objetos y la vida cotidiana estará equipada con microcontroladores, transceptores sensores para establecer comunicación digital entre sí y con los usuarios, convirtiéndose en una parte integral de internet.

En cuanto al origen de IoT, su origen se le atribuye a Kevin Ashton (Ashton, 2009) experto en innovación digital, director ejecutivo en el Auto-ID Center del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). El desempeño principal de este grupo era realizar investigaciones en el área de la identificación mediante radio frecuencia (RFID) y tecnologías de sensores emergentes.

Sin embargo, todas las definiciones que podemos encontrar sobre el IoT, presentan una similitud, y es la idea concebida de que la primera versión de internet se refería a datos creados por personas, mientras que la actual definición se refiere al tratamiento de los datos creados por “cosas”, siendo estas máquinas, robots, bases de datos, etc. Por tanto, el IoT es (Madakam, Ramaswamy, & Tripathi, 2015) *“una red abierta y completa de objetos inteligentes que tienen la capacidad de auto-organizarse, compartir información, datos y recursos reaccionando y actuando frente a situaciones y cambios en el entorno”*.

En el IoT, los sensores y actuadores integrados en objetos físicos son conectados a través de redes cableadas e inalámbricas, que frecuentemente emplean la misma IP que se conecta a Internet. Estas redes producen grandes volúmenes de datos que fluyen hasta los ordenadores para su posterior análisis. Cuando los objetos tienen la capacidad de “sentir” el entorno y comunicarse, se convierten en herramientas para comprender la complejidad y responder con rapidez (Madakam, Ramaswamy, & Tripathi, 2015).

Gran parte de los contenidos existentes sobre el IoT son resultado del desarrollo del RFID, esto quiere decir que el IoT se inspiró inicialmente en esta tecnología, ya que los expertos se referían a la posibilidad de descubrir información sobre un objeto etiquetado al navegar por una dirección de internet o entrada de base de datos que corresponda a una tecnología particular de RFID o *Near Field Communicatos* (NFC).

Por tanto, las tecnologías clave incluidas y desarrolladas en el IoT son el RFID, la tecnología de sensores, nanotecnología e inteligencia artificial. El IoT permite a los usuarios llevar objetos físicos al mundo cibernético, y esto se consigue gracias a las diferentes tecnologías de etiquetado como MFC, RFID y códigos de barras 2D, que permiten identificar objetos a través de internet (Evans , 2011). Existe una gran variedad de aplicaciones de IoT en todos los dominios (Madakam, Ramaswamy, & Tripathi, 2015): médico, fabricación, logístico, industrial, transporte, educación, gobierno, minería, hábitat.

Para el *monitoreo de recursos y energía*, los sensores IoT (Macaulay & Kückelhaus, 2015) son ideales para rastrear todo tipo de recursos, incluyendo el petróleo y gas natural, electricidad y agua. La tecnología IoT puede reducir el desperdicio, prevenir desastres y ser un componen crítico de la red de energía inteligente del futuro.

En las *plantas de producción conectadas*, las aplicaciones desarrolladas por sensores han sido habituales en el campo de la automatización industrial y control de los procesos de fabricación (Macaulay & Kückelhaus, 2015). ABB, Bosh, GE (*General Electric*) y Rockwell Automation son solo algunas de las organizaciones que han invertido en esta área. El mantenimiento preventivo de los equipos industriales es un ejemplo para el uso del IoT, de tal forma que los sensores que portan las máquinas pueden alertarlas de que un activo físico en la fábrica está excediendo los niveles aceptables de vibración o temperatura, o que un elemento de la máquina esté funcionando de manera anormal.

En cuanto a la *seguridad y protección*, el monitoreo de equipos y personas para aumentar la seguridad y protección es otra de las principales puestas en valor del IoT (Macaulay & Kückelhaus, 2015). El IoT se extiende más allá de la prevención industrial: mejorar el bienestar del consumidor, empleando tecnologías portátiles para permitir el “yo cuantificado”, ha aumentado dramáticamente en los últimos años, ejemplificado por dispositivos de Apple, Fitbit, Pbble.

Por ejemplo, *Novartis* y *Google* han desarrollado una lente de contacto inteligente para medir los niveles de glucosa en sangre para pacientes que sufren diabetes. También se emplea IoT para controlar a pacientes con enfermedades de tipo crónico y controlar parámetros como la presión arterial en sangre, el cumplimiento de las instrucciones médicas, etc. (Macaulay & Kückelhaus, 2015).

En cuanto a las aplicaciones de IoT en el sector logístico, es innegable que los dispositivos conectados a internet han cambiado nuestra manera de vivir, nuestro hábitos y costumbres, no solo a nivel personal sino también profesional. La gran mayoría de las compañías se centran

en aplicar esta tecnología para mejorar y crecer su rendimiento y eficiencia tanto en la industria, fabricación y distribución (Jianli, 2012). El IoT aplicado a la industria del transporte permite reducir los tiempos de envío de mercancías, así que como optimizar las rutas, y facilita la información del envío al cliente para mejorar la experiencia de venta.

En cuanto a la *gestión y el tráfico de flotas*, los vehículos están entre los activos más “maduros” o consolidados para mejorar la eficiencia (Macaulay & Kückelhaus, 2015). La telemática del vehículo y la integración de la infraestructura del mismo, han sido aplicaciones de vanguardia en el uso de datos de sensores. Tanto los fabricantes de automóviles como los operadores de transporte han invertido sustancialmente en vehículos conectados.

Las aplicaciones basadas en IoT en el tráfico y gestión de flotas (Ramirez, 2017): el tiempo de inactividad de la flota debe ser minimizado para lograr maximizar la productividad y la eficiencia. Aplicando escáneres móviles, sistemas RFID, las empresas pueden mejorar en cuanto al control y trazabilidad de las operaciones y racionalizarlas para mantener la flota en movimiento. De esta forma, se reemplazan las operaciones manuales y en papel por dispositivos móviles, capaces de aumentar la precisión de los datos recopilados.

Además, la conectividad también mejora la comunicación entre la empresa y sus operarios, puesto que en cualquier momento y en cualquier lugar pueden conectarse ambos. Con las actualizaciones de los datos en tiempo real, los operarios de la flota pueden prepararse mejor y responder de forma más eficiente a ciertas condiciones como el mal tiempo o el tráfico.

Un ejemplo es el Centro de Información de Transporte de la Ciudad de Seúl, que evolucionó a partir de un sistema de gestión de bus creado en 2004 (Macaulay & Kückelhaus, 2015). Actualmente, es el responsable de proporcionar servicios eficientes de transporte público a través de la gestión y recopilación de información en todo el transporte público en Seúl.

El centro TOPIS (Macaulay & Kückelhaus, 2015) recopila datos de calles, autobuses, taxis y ciudadanos usando aparatos GPS, sensores de carretera, vídeos, etc. Estos datos permiten dotar de un enfoque científico a la política de la gestión de flotas. Los viajeros tienen acceso a los horarios de llegada de los autobuses 24 horas al día, lo que les permite programar sus rutas y elegir que autobuses están disponibles. Este nuevo sistema ha permitido reducir el tráfico, mejorando y optimizando la utilización de los servicios de transporte y aumentando la satisfacción del cliente.

Gracias a la tecnología del IoT, se están desarrollando sistemas en el sector logístico como el *packaging inteligente* (Ramirez, 2017), el cual cuenta con diferentes tipos de sensores que son los responsables de enviar la información en tiempo real, permitiendo conocer características relevantes a cerca del estado del contenido de cada pedido como, la geolocalización (dónde se sitúa el pedido en el mapa en tiempo real), termómetro (conocer la temperatura del producto sobretodo en producto alimenticios o farmacéuticos), la humedad y sensores de movimientos y golpes (con el fin de analizar el comportamiento del envío y si algún producto ha podido sufrir algún daño durante el transporte).

En cuanto a la gestión de almacenes (Alsina, 2018), el IoT ha jugado un papel de especial importancia, permitiendo, por ejemplo, que las estanterías equipadas mediante sensores de peso y dimensiones sean capaces de avisar si el palet que se ha colocado en una determinada ubicación, corresponde o no con el que teóricamente se ha establecido que debe tener. Así mismo, las carretillas empleadas para el transporte en un almacén, pueden estar equipadas con sistemas de prevención de acciones, deteniendo el vehículo si este se encuentra próximo a objetos o personas, optimizando las rutas, minimizándolas y con ello reducir el coste.

O incluso, mediante el empleo de IoT, se puede prever los lugares de ubicación de los palets que se vayan a recibir a una hora determinada, con un tipo de mercancía específico, y con unas dimensiones conocidas, sin que el camión haya llegado a la nave correspondiente.

Para la gestión de la última milla (Transgesa, 2016), el IoT ha desarrollado diferentes sistemas para conocer si el destinatario estará presente en el domicilio correspondiente para recibir el pedido, mediante aplicaciones de Smartphone que informen al transportista si el destinatario ha salido de casa o mediante el empleo de sistemas que informen al mismo de la hora aproximada de la entrega para que este pueda avisar al transportista si estará o no disponible. Actualmente se están empleando en numerosas empresas los buzones inteligentes, denominados “*mailbox*”, los cuales se usarían tanto para entregas como para el envío de productos, teniendo en cuenta cierto tipo de información como peso, dimensiones, estado producto, etc.

Gracias a la hiperconectividad de los dispositivos, en los almacenes se puede conocer a tiempo real que ubicaciones se encuentran disponibles, permitiendo así agilizar la entrada y salida de productos o materias primas (Alsina, 2018). No obstante, mediante la identificación de productos, se puede conocer el stock disponible, características de interés de cada producto, el número de unidades de un producto, etc. La detección de errores mediante la aplicación del IoT, incluso de accidentes respecto al mantenimiento de las mercancías y la pérdida de stock.

4.3. BIG DATA

El gran volumen de datos generados conlleva a la aparición y desarrollo de herramientas capaces de analizar y procesar estos datos seleccionando e identificando aquello que tenga especial relevancia. En los últimos cinco años, se ha generado más información científica que en toda la historia de la humanidad, señala Winston Hide, profesor de bioinformática de la Escuela de Salud Pública de Harvard (Paniagua, 2018). “*El volumen de datos existentes es tal que si ocupara un espacio físico superaría el tamaño de la galaxia*”, afirma Hide.

Esta incesante generación de datos ha incurrido en la emergencia de la tecnología Big Data, en español “*Datos masivos*”. Big Data es una herramienta para almacenar grandes y voluminosas cantidades de datos estructurados, semiestructurados y no estructurados que

presentan la capacidad de ser analizados para extraer conclusión y tendencias que presenten los mismos (Fan, Han, & Liu, 2014).

El análisis Big Data trata de recopilar, almacenar y analizar grandes cantidades y volúmenes de datos de manera eficiente con el objetivo de extraer información que no son posibles con datos a pequeña escala. Por esa razón, Big Data se está convirtiendo en un factor esencial en la toma de decisiones en empresas líderes que buscan superarse frente a sus competidores (Pirzadeh, Carey, & Westmann, 2017), redefiniendo el panorama competitivo de diversas industrias.

Una vez definido el concepto Big Data, los objetivos (Huang & Xu , 2015) de esta técnica se resumen fundamentalmente en dos: *permite explorar las estructuras ocultas* de cada subpoblación de datos, que a través de las técnicas tradicionales no es factible, y *extrae características comunes e importantes* en muchas subpoblaciones, incluso cuando los datos presentan grandes variaciones individuales. Por ello, el Big Data permite entender la heterogeneidad y puntos en común entre diferentes subpoblaciones.

En cuanto a las dificultades y problemas que presenta el análisis Big Data (Pirzadeh, Carey, & Westmann, 2017), la alta dimensionalidad de datos trae consigo acumulación de ruido, correlaciones y homogeneidad occidental; esto combinado con un elevado tamaño de muestra, crea problemas tales como el alto coste computacional e inestabilidad algorítmica; por último, las muestras masivas en Big Data generalmente son resultado de datos que provienen de múltiples fuentes en diferentes puntos de tiempo usando diferentes tecnologías.

Los aspectos más significantes del Big Data se pueden resumir en las cuatro “V” (Paniagua, 2018): volumen, velocidad, variedad y veracidad. El *Volumen de Datos* se refiere al tamaño de los conjuntos de los datos que se pueden analizar y procesar. El elevado volumen de datos requiere tecnologías de procesamiento, almacenamiento mucho más sofisticadas que las tradicionales. Esto quiere decir que los conjuntos de datos en Big Data son demasiado grandes como para procesarlos con un PC convencional.

Un ejemplo que pone de manifiesto lo expuesto serían las transacciones con tarjeta de crédito realizadas un día en la Unión Europea. Según la Fundación Investigación Bankinter (Paniagua, 2018):

“Cada hora puede llegar a procesar una media de sesenta millones de transacciones procedentes de casi dos mil millones de tarjetas de doscientos veinte países, a través de cuarenta millones de comercios. Con un conjunto de datos tan rico y amplio, podemos ser capaces de detectar cambios en la economía con una sensibilidad y profundidad increíbles”. Por ello, los datos sirven para aportar ideas a los bancos, comercios, gobiernos, etc., que les guíen para tomar y ejecutar las decisiones adecuadas.

Otra característica es la *Velocidad* con la que los datos son generados. Los datos de alta velocidad se generan con un ritmo tal que requieren distintas técnicas de procesamiento. Por

su parte, la *Variedad* consigue que el Big Data sea realmente rico y grande. Big Data proviene de una gran variedad de fuentes que presentan datos de tres tipos distintos: datos estructurados, semiestructurados y no estructurados. Por ejemplo, los datos pueden proceder de sensores, cámaras, Smartphone, pagos, transacciones, sistemas de navegación, redes sociales, entre muchas otras fuentes.

Por último, la *Veracidad* está ligada implícitamente con la calidad de los datos que serán analizados. Los datos que presenten un grado de veracidad elevado, presentan muchos registros que son valiosos para analizar y que contribuyen de manera significativa a los resultados generales. Por el contrario, los datos que presenta una baja calidad, tiene un porcentaje elevado de datos sin aportación, interés ni sentido. A este tipo de datos se les denomina ruido.

Si hablamos sobre los Sistemas Big Data, podemos ver la variedad de *plataformas informáticas* creadas en los últimos años. A continuación, hablaremos de las más significativas y conocidas que se emplean (Huang & Xu , 2015):

Hadoop es una plataforma informática distribuida escrita en lenguaje de programación Java para el almacenamiento distribuido y procesamiento de conjuntos de datos almacenados en grandes agrupaciones. Fue creada en 2005 por Doug Cutting y Mike Cafarella. Hadoop es distribuida bajo término de la Licencia Apache, software libre y código abierto.

Spark es un marco de trabajo de computación en clúster de código abierto desarrollado originalmente en el AMPLab en la UC de Berkeley. Una de las principales diferencias entre la plataforma Hadoop y Spark es que spark se ejecuta en memoria. Además, hace que el acceso a los datos sea mucho más rápido.

Por último, el *Hadoop streaming* nos permite escribir, mapear y reducir funciones en cualquier lenguaje de programación o scripting que admite datos estándar. esta característica hace que sea muy flexible y puede ser empleado fácilmente por un gran número de usuarios.

En definitiva, el Big Data genera valor para cualquier industria a través de cuatro vías posibles (BBVA, 2018): hace que la información sea transparente y fácil de usar; crea y almacena datos con información más detallada y acertada, como inventarios, bajas laborales mejorando el desempeño de las organizaciones; permite mejorar la segmentación del mercado y de los clientes; y el análisis reflexivo de los datos puede ser de gran ayuda a la hora de tomar las decisiones acertadas.

El Big data presenta infinidad de aplicaciones en diferentes áreas como la medicina, el gobierno, la industria manufacturera, la logística, en la educación, en los medios sociales, seguridad, en IoT, ..., o en las tecnologías de la información en general. Obviamente, nos vamos a centrar en el campo de la logística, a fin de conocer cuáles son las principales ventajas obtenidas en esta área gracias a la aplicación de Big Data (Huang & Xu , 2015).

El Big Data permite recopilar datos generados durante la cadena de suministro. Mediante la información obtenida de esos datos, se pueden detectar tendencias, patrones o inclusión

comportamientos de los clientes o procesos no conformes, pudiendo proponer soluciones e implantarlas para mejorar y optimizar la cadena de suministro.

En cuanto a la eficiencia operacional (Borgi, Abed, & Zoghiami, 2017) en el sector logístico, mejorarla es lo más importante y la consecuencia directa por la adopción del Big Data en el transporte y la logística. En general, el procesamiento de datos automatizado proporciona una mejor capacidad en la toma de decisiones, mejora el proceso de calidad y el rendimiento, y optimiza el consumo de recursos. Explotando la gran variedad de datos a través de modelos y técnicas avanzadas de regresión, se puede elevar el valor predictivo y reducir significativamente el riesgo de cualquier inversión a largo plazo, especialmente en la infraestructura, y garantizar una mejor planificación de recursos a nivel estratégico.

En el nivel operacional, las rutas de transporte y su tránsito se evalúan mediante la aplicación del Big Data, que es capaz de transformar una red de distribución en una infraestructura auto-organizada mediante el procesamiento en tiempo real de la información adquirida a partir de datos de sensores o de información externa (Borgi, Abed, & Zoghiami, 2017).

Otro aspecto importante del análisis Big Data en esta área es la adquisición de conocimientos del cliente (Borgi, Abed, & Zoghiami, 2017), es decir, la experiencia del cliente. De hecho, la mayoría de los valores significativos de la gestión de las relaciones con el cliente y el entendimiento de su demanda pueden llevarse a cabo por los datos obtenidos mediante la red de distribución y transporte. El objetivo es conseguir una base de datos de los clientes, permitiendo a los proveedores y a las empresas de transporte tener la posibilidad de estimar la satisfacción del cliente y minimizar el abandono del mismo.

Esto quiere decir que la recogida y análisis de los comentarios de los clientes puede garantizar una mejora de la calidad e innovación de nuevos servicios. Tradicionalmente esto era posible mediante la realización de encuestas a clientes y datos en almacenados en sistemas como el CRM (en inglés, *Customer Resource Management*). Un ejemplo son las redes sociales, de donde se pueden albergar y analizar de manera automática las informaciones y comentarios relevantes de los clientes, para permitir a las organizaciones mejorar en calidad y eficiencia (Borgi, Abed, & Zoghiami, 2017).

Por último, la creación de nuevos modelos de negocio en el campo de la logística gracias a la aplicación de Big Data: las empresas de transporte y logística pueden aprovechar la enorme cantidad de datos relacionados en la cadena de transporte, la recogida y entrega de productos para generar nuevos activos de información y con ello, nuevos modelos de negocio (Huang & Xu, 2015).

En este sector, Alibaba es una de las principales empresas de comercio electrónico del mundo; de hecho, es el principal competidor de Amazon. Alibaba emplea el Big Data como uno de sus principales pilares, puesto que, gracias al análisis de datos de sus clientes, puede anticiparse a sus deseos, realizar sugerencias, gestionar la entrega de los pedidos, etc (ED, 2017).

El CEO de la compañía ha asegurado que el análisis mediante Big Data está alterando la economía respecto a cómo se concebía: *“La economía de mercado y la planificada quedara atrás, ya que el Big Data llevará a que el mercado sea más inteligente, y la anticipación sea la norma de las empresas”*. Así lo apuntó en el Big Data Expo que tuvo lugar en la ciudad de Guiyang, en 2017 (ED, 2017).

Tal es la implicación de la empresa con las tecnologías de la I4 y, concretamente el Big Data, que en 2018 la empresa compró el 38% del accionariado por un valor de 486 millones de dólares de la empresa Shiji Retail Information Technology (expansión, 2018), cuya misión es dar soporte a sus clientes empleando sistemas TI, y tecnologías punteras en el sector hostelero, industria, comercio minorista y en la tecnología de entretenimiento. El grupo tiene presencia en América, Asia, Oceanía y Europa (Shiji Group, 2019).

4.4. SIMULACIÓN

El término simulación se define como *“la imitación de la operación de un proceso o sistema del mundo real a lo largo del tiempo”* (Scanlan, 2018). Imitar un proceso del mundo real permite a las organizaciones estudiar la variabilidades y factores que afectan al sistema en un entorno controlado. La simulación es una herramienta para evaluar el desempeño de un sistema, existente o propuesto, bajo diferentes configuraciones de interés y durante largos periodos de tiempo real (Maria, 1997).

Un ejemplo de aplicación de la simulación en la industria es la identificación de posibles cuellos de botella de un proceso productivo, lo que permite aumentar la productividad y capacidad de la empresa. También, puede emplearse la tecnología de la simulación para identificar oportunidades en cuanto al ahorro en costes de los recursos humanos; elaborar la distribución en planta o lay-out de un proceso productivo, ..., entre otras muchas. En definitiva, la simulación permite experimentar situaciones y tomar decisiones, sobre las que no se tiene información tangible, permitiendo anticiparse a resultados imprevistos.

La simulación en la planificación logística consiste en un método de evaluación y diseño para la gestión, transporte, almacenaje, distribución en los procesos logísticos que tienen lugar en las compañías (Xiang, 2017). La simulación en logística integra la simulación de la planificación de un evento discreto, el objeto de servicio y operación de campo. En el sector transportes, la simulación se ha convertido en una herramienta muy importante, sobre todo en la previsión del flujo de vehículos en determinadas situaciones.

La simulación se ha convertido en un elemento importante en la gestión de la cadena de suministro y en el flujo de materiales, resultando ser la opción más fácil para verificar la red y el flujo de materiales en un sistema de producción (Novak-Marcincin, Novakova-Marcincinova, Janak, & Fecova, 2012). La simulación empleada hasta ahora solo muestra el flujo de material en marcha en una planta.

Siemens ha desarrollado un simulador denominado “Siemens Tecnomatix Plant Simulation” (véase Figura 4.3), dando servicio a las compañías para crear modelos de instalaciones de producción, procesos, flujo de materiales, distribuciones en planta, etc. Este entorno dispone de interfaces y bibliotecas de objetos de aplicación dedicadas a los procesos de manufactura y logísticos (Scanlan, 2018).



Figura 4.3: Entorno simulador “Siemens Tecnomatix Plant Simulation” (Scanlan, 2018)

La simulación también se utiliza para gestión de inventarios, permitiendo explotar aspectos operativos como el cambio de inventario diariamente, en horas o en minutos en los almacenes de una compañía. No obstante, se simula la gestión de inventarios cuando se analiza la relación entre el inventario de seguridad, las demoras en los pedidos y los niveles de servicio en distintos puntos de la cadena de suministro, afectados fundamentalmente por los cambios en la demanda (Sun, Wu, & Chen, 2018) .

La simulación permite diseñar almacenes y configurar las actividades que tienen lugar en el mismo, creando así un modelo funcional que represente qué los vehículos llegan al almacén, qué y cuántos productos son almacenados y qué pedidos recogidos y enviados. De tal forma que el usuario podrá visualizar la simulación y determinar cuáles son las zonas o recursos de bajo rendimiento del almacén, si existen problemas de diseño del mismo, reducir tiempo y esfuerzo necesario para realizar las operaciones de preparación de pedidos, optimizando la mano de obra y con ello, los costes asociados a la misma (Sun, Wu, & Chen, 2018).

En el sector naval, la simulación se ha convertido en una herramienta de gran ayuda en cuanto a la gestión y tráfico de mercancías tanto en zonas portuarias, donde confluyen todas las cargas y descargas de mercancías, como en la logística de distribución, optimizando las rutas marítimas y mejorando la eficiencia del transporte de mercancías (Hidalgo, Aranda, Pascual, & Smith, 2017). En este sector, los softwares de simulación se emplean para controlar y visualizar el movimiento de contenedores de carga, tráfico de mercancías, flujo de personas, estudios de optimización de la capacidad de operación de los puertos, ... un ejemplo de software podría ser Simio, Anylogic, Enterprise Dynamics, ... entre otros (Leriche, et al., 2015).



Algunos softwares de simulación que actualmente emplean las organizaciones son (Botero, 2015) ASDN Logistics Analysis, empleado para la simulación de cadenas de suministro, es gratuito y funciona sobre una máquina virtual java; European Multidisciplinary Society for Modeling and Simulation Technology, este software dispone de un sinnúmero de herramientas y funcionalidades para la simulación de procesos industriales y logísticos; JaamSim, se emplea para eventos discretos; Herramientas para la simulación Montecarlo, disponibles en diferentes plataformas basadas en el método Montecarlo; por último, el software W2MO, simula centros de distribución, gestión de almacenes, cross-docking, etc.

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

La elaboración del presente documento ha supuesto todo un reto; la razón no es otra que la extensa y masiva información que actualmente existe de las tecnologías de la industria 4.0 y la logística como principal campo de aplicación de las mismas. Esto se refleja en las numerosas referencias bibliográficas que he consultado para elaborar el Trabajo Fin de Máster. La selección y filtración de las fuentes bibliográficas requiere un trabajo meticuloso y de aprendizaje, ya que cada vez son más las aplicaciones desarrolladas en el campo de la logística gracias a la aplicación de las tecnologías habilitadoras.

En cuanto a la estructura del documento, he querido plasmar ideas y conocimientos básicos de los principales temas a tratar: la industria 4.0 y la logística. La industria 4.0 ha supuesto toda una revolución y no solo en el ámbito industrial, por ello he querido dedicar un capítulo a desarrollar y explicar el por qué surge esta revolución y cuáles son los pilares sobre los que se sustenta. Así mismo, la logística y su conceptualización se desarrollan en el segundo capítulo de dicho documento, con el propósito final de contextualizar la misma y conocer cuál es su fundamento, origen, evolución y cuáles son los diferentes tipos de logística que podemos encontrarnos en la actualidad.

Posteriormente, he querido tratar de forma más específica las distintas aplicaciones que pueden ejecutarse en el campo de la logística, incluyendo ejemplos concretos de empresas que actualmente emplean dichas herramientas, obteniendo ventajas competitivas y, con ello mejorar y maximizar su rentabilidad. Sin duda alguna, la búsqueda de ejemplos concretos en cuanto a las operaciones logísticas realizadas mediante la implantación de tecnologías de la I4 desarrollados por empresas, ha resultado la tarea más compleja y a la vez más interesante de dicho documento. Por ello, he dedicado la mitad del Trabajo Fin de Máster a explicar las tecnologías y realizar un estudio de sus aplicaciones logísticas.

A priori parece resultar impensable para las empresas del campo logístico aplicar tecnologías como, por ejemplo, la Realidad Aumentada y algoritmos Deep Learning para la detección de baches en el asfalto, pero lo que sí que es cierto que son muchas las organizaciones que están implantado técnicas como ésta o similares. Por ello, este documento tiene como fundamento que el usuario que lo lea aprenda y conozca todo este paradigma tecnológico, e incluso pueda extraer aplicaciones del mismo para su entorno laboral, de investigación, etc.

Como ya se ha comentado a lo largo del presente documento, la industria 4.0 se muestra como un cambio en el paradigma industrial, empresarial y social. La presentación de las nuevas tecnologías habilitadoras y la adopción de las mismas por parte de las compañías, supone uno de los mayores retos que presentan las organizaciones. Las tecnologías habilitadoras, pilares de la I4, como el IoT, Machine Learning, Cloud Computing, RFID, robots inteligentes, Deep Learning, Big Data, ... permitirán mejorar la eficiencia y competitividad de los procesos y de las organizaciones.

Por ello, la industria 4.0 busca crear nuevos modelos de negocio y optimizar los ya existentes, reorganizando las cadenas de valor industrial, de tal forma que se consiga la consolidación de la transformación digital. Solo aquellas organizaciones que dispongan de los recursos necesarios para llevar a cabo dicha transformación, podrán conseguirlo.

Sin embargo, no solo es cuestión de “dinero”, es decir, las grandes empresas que disponen, por lo general, de un volumen de recurso económico importante y que han invertido en la aplicación de las tecnologías de la I4, no han conseguido una transformación digital completa y eficaz. Este es uno de los retos a los que hoy en día se enfrentan las empresas, por ello, recurren a organizaciones, como consultorías, para demandar la información necesaria que les permita ayudar a conseguir obtener el máximo rendimiento y beneficio de la aplicación de la I4.

El motivo es la falta de conocimientos de los líderes ejecutivos de las organizaciones. Estos no han conseguido llevar a cabo una transformación a nivel de ejecución y toma de decisiones, es decir, un cambio en la conceptualización de la manera en la que se toman las decisiones. Por ello, es vital que los ejecutivos adquieran las competencias y capacidades que exigen la I4 para poder transmitírsela al resto de empleados de las plantas.

Como se expuso en el capítulo 1, la concienciación es vital en las organizaciones para conseguir una implantación robusta de la digitalización en el modelo de negocio de las mismas. Por ello, los ejecutivos deben centrar todos sus esfuerzos para desarrollar las capacidades al máximo del personal cualificado (capaz de desempeñar las funciones requeridas de la implementación de la I4), y dotar de los medios y formación necesaria a los trabajadores no cualificados.

La implementación de las tecnologías I4 traerá consigo puestos con un nivel de competencia y cualificación, que serán desempeñados por lo que se conoce como el trabajador del futuro, y así lo apuntan los expertos: aquel capaz de filtrar la información, priorizar las tareas y tomar las decisiones de manera conjunta, es decir, fomentar el trabajo en equipo.

La gestión de la cadena de suministro, la entrega urgente, el comercio electrónico, la logística inversa, etc., son todas formas de operaciones logísticas que han ido mejorando y evolucionando significativamente gracias a la adopción de las tecnologías emergentes de la industria 4.0, que, a su vez, están contribuyendo en la transformación digital de transporte y logística, y de esta manera convertirse en logística 4.0.

La aplicación de las tecnologías de la I4 en el área logístico, busca satisfacer la demanda de los clientes y optimizar el uso de recursos, de tal forma que las organizaciones puedan mejorar sus procesos y obtener su máximo rendimiento y ventaja competitiva frente al resto de organizaciones. Estamos en un mercado cada vez más globalizado e interconectado en el que la competitividad entre las organizaciones es vital para impulsar la mejora continua de sus procesos, producto, la inversión en innovación y desarrollo mediante la estrecha colaboración con institutos, universidades y centros de investigación.



Como posibles líneas futuras de investigación se encuentra la implantación de algoritmos Deep Learning a partir de millones de datos obtenidos del sistema de producción, con el fin de controlar la calidad de los productos en la logística interna de una factoría. Esto supondría detectar cualquier producto defectuoso en la cadena de fabricación, y con ello reducir la tasa de productos no conformes y con ello las pérdidas económicas para la empresa. Dentro de las tecnologías de la I4 en la logística, el Deep Learning es una de las últimas en desarrollarse, por lo que son muchos los investigadores y universidades que están centrando sus esfuerzos en desarrollar nuevas aplicaciones mediante la ejecución de algoritmos cada vez más complejos.

En definitiva, aunque son muchas las organizaciones que disponen de las tecnologías de la I4, estas no serán capaces de adoptarlas en sus procesos hasta que los ejecutivos y directivos de las comprendan la importancia de la transformación digital y comiencen a tomar decisiones que permitan avanzar en el proceso de la digitalización industrial. La concienciación es necesaria e imprescindible en las organizaciones para conseguir una implantación robusta de la digitalización en el modelo de negocio de las organizaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, A. (2019). Applications of Artificial Intelligence in Transport: An Overview. *MPID*, 11(189), 1-24.
- Alsina, A. (31 de Enero de 2018). *Beneficios del IoT o Internet of Things aplicado a la logística*. Recuperado el 24 de Mayo de 2019, de iebes: <https://www.iebschool.com/blog/internet-of-things-sector-logistica/>
- Álvarez, H. (2014). Elementos básicos de logística. Soporte para las cooperativas. *Cooperativismo y Desarrollo*, 2(1), 1-15.
- Álvarez-Palau, E. J., & Viu, R. M. (2018). La logística del mañana: retos y oportunidades en la era digital. *Oikonomics*(9), 13-26. Retrieved from http://oikonomics.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/_recursos/documents/09/Oikonomics_9_cast_OpenCMS_a4.pdf#page=13
- Alwater, M., Loke, S. W., & Rahayu, W. (2018). Drone Services: An Investigation via Prototyping and Simulation. *IEEE*, 367-370.
- Arriola, I. (2018). *Detección de objetos basada en Deep Learning*. Facultad de Informática, Ingeniería computacional y sistemas inteligentes. País Vasco: Universidad del País Vasco.
- Ashton, K. (2009). *That Internet of Things. Thing in the Real World Things Matter More than Ideas*. Hannover. Retrieved Diciembre 15, 2018, from <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- Ballesteros, P., & Ballesteros, D. (2008). Importancia de la administración logística. *Scientia et Technica*, 14(38), 217-222.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro* (5 ed.). México: Pearson.
- Barroso, G. (2018). *Hacia una fabricación aditiva más competitiva, eficiente y sostenible*. Recuperado el 3 de Febrero de 2019, de <https://www.innovaspain.com/hacia-una-fabricacion-aditiva-mas-competitiva-eficiente-sostenible/>
- BBVA. (2018). *Beneficios y aplicaciones del Big Data*. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de BBVA: <https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/beneficios-y-aplicaciones-del-big-data>
- BMW Group. (2019). *Industry 4.0. Digitalización en la producción*. Recuperado el 13 de Mayo de 2019, de BMW Group: <https://www.bmwgroup.com/en/innovation/innovation-company/industrie-4-0.html>
- Borgi, T., Abed, M., & Zoghalmi, N. (2017). Big Data for Transport and Logistics : A Review. *International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC_ASET)*, (pp. 44-49). Hammamet, Tunisia. doi:10.1109/ASET.2017.7983742



- Botero, J. L. (2015). *Alternativas de software para simulación en logística*. Obtenido de Editorail. Logsitica. LA: <https://editorial.logistica.la/2015/07/29/software-libre-scm/>
- Buisán, M., & Valdés, F. (2017). La Industria Conectada 4.0. *La Economía Digital en España, ICE*(898), 89-99. doi:10.32796/ice.2017.898.1963
- Burke, C., Nguyen, H., Magilligan, M., & Noorani, R. (2019). Study of A Drone's Payload Delivery Capabilities Utilizing Rotational Movement. *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, (pp. 672-675). Dhaka, Bangladesh, Bangladesh. doi:10.1109/ICREST.2019.8644318
- Calvo, J., Guzmán, M. A., & Ramos, D. (2018). *Machine Learning, una pieza clave en la transformación de los modelos de negocio*. Management Solution. Retrieved Mayo 18, 2019, from <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/machine-learning.pdf>
- Castelló, M. A. (2017). *Distinguir entre ambición y realidad en i4.0*. Retrieved Mayo 4, 2019, from <https://home.kpmg/es/es/home/tendencias/2017/06/industria-4-0-entre-ambicion-realidad.html>
- Christopher, M. (2011). *Logistics and Supply Chain Management* (1 ed.). Prentice Hall: Pearson.
- Companik, E., Gravier, M., & Farris, M. (2018). FEASIBILITY OF WAREHOUSE DRONE ADOPTION AND IMPLEMENTATION. *Research Gate*, 1-10.
- Correa, A., & Gómez, R. A. (2009). Tecnologías de la Información en la cadena de suministro. *Dialnet*, 76(157), 37-48.
- Correa, A., Gómez, R. A., & Cano, J. A. (2010). Gestión de almacenes y tecnologías de la información y comunicación (TIC). *Dialnet*, 1-7.
- Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R., & Gibson, B. (2012). *Supply Chain Management: A Logistics Perspective* (9 ed.). South-Western.
- Craig, R., Carter, & Lisa, M. (1998). Reverse Logistics: a review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*, 19(1), 85-90.
- De Brito, M. P., & Dekker, R. (2003). A framework for Reverse Logistics. *ERIM Report Series Research in Management*, 20-29.
- De los Ríos, J. L. (2019). *Las tendencias logísticas que te llevarán a lo más lejos*. Recuperado el 10 de Febrero de 2019, de <https://www.iebschool.com/blog/tendencias-logistica/>
- Desjardins, J. (2018). *Amazon and UPS are betting big on drone delivery*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de Business Insider: <https://www.businessinsider.com/amazon-and-ups-are-betting-big-on-drone-delivery-2018-3?IR=T>

- Dipole. (2018). *ETIQUETAS RFID DECATHLON, INDITEX Y EL CORTE INGLES*. Retrieved Junio 3, 2019, from Dipole, RFID: <https://www.dipolerfid.es/es/blog/etiquetas-rfid-decathlon-corte-ingles-inditex>
- Dufour, P., & Gacoin, J. (2018). *WAREHOUSE INVENTORY USING DRONES*. Levallois-Perret: GEODIS and deltadrone.
- EAE. (2016). *La Globalización: consecuencias en el área logística*. Recuperado el 6 de Abril de 2019, de EAE. Business School: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/globalizacion-consecuencias-en-el-area-logistica/>
- EAE. (2018). *Blockchain: la revolución llega a la cadena de suministro*. Retrieved Mayo 18, 2019, from EAE, Business School: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/blockchain-la-revolucion-llega-a-la-cadena-de-suministro/>
- EAE. (2018). *Machine learning en las empresas de logística*. Retrieved Mayo 19, 2019, from EAE. Business school: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/machine-learning-en-las-empresas-de-logistica/>
- ED. (2017). *Economía Digital*. Retrieved Mayo 25, 2019, from Tecnología y Tendencias: https://www.economiadigital.es/tecnologia-y-tendencias/alibaba-big-data-economia-actual_408258_102.html
- EFE. (2016). Inditex se apoya en la tecnología RFID para mejorar su servicio. *elEconomista*. Retrieved Mayo 21, 2019, from <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/7417573/03/16/Inditex-se-apoya-en-la-tecnologia-RFID-para-mejorar-su-servicio.html>
- Ekanadham, C. (2018). *Using Machine Learning to Improve Streaming Quality at Netflix*. Retrieved from Netflix Research: <https://medium.com/netflix-techblog/using-machine-learning-to-improve-streaming-quality-at-netflix-9651263ef09f>
- Europa Press. (2018). *Economía y Finanzas*. Recuperado el 5 de Mayo de 2019, de <https://www.europapress.es/economia/noticia-digitalizacion-responsable-30-crecimiento-economia-espanola-minsait-20180925104818.html>
- Evans, D. (2011). *Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo*. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Retrieved Mayo 23, 2019, from https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf
- expansión, P. d. (2018). *Expansión*. Retrieved from economía digital: <http://www.expansion.com/economia-digital/companias/2018/02/14/5a8460c846163f2b7d8b4657.html>
- Fan, J., Han, F., & Liu, H. (2014). Challenges of Big Data analysis. *National Science Review*, 293–314.



- Feal, J. (2008). Logística Inversa. *Dialnet*(307), 142-155.
- Fené, T. (2019, Abril). *carrefour-nestlé blockchain: technolgy for food transparency with mousline*. Retrieved Junio 3, 2019, from Press release Nestlé: <https://www.nestle.com/asset-library/documents/media/news-feed/nestle-carrefour-mousline-puree-blockchain-pr-april-2019.pdf>
- Gao , M., & Feng , Q. (2009). Modeling and Forecasting of Urban Logistics Demand Based on Support Vector Machine. *Second International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining*, (pp. 793-796). Moscow, Russia. doi:10.1109/WKDD.2009.211
- García, P. (2 de Mayo de 2018). *Logística 4.0: la revolución tecnológica en la cadena de suministro*. (izertis, Productor) Recuperado el 12 de Mayo de 2019, de <https://transformaciondigital.izertis.com/blog/logistica-4.0-la-revolucion-tecnologica-en-la-cadena-de-suministro>
- Gates, D., & Bremicker, M. (2017). *Beyond the hype: Separating ambition from reality in i4.0*. KPMG International. Retrieved Mayo 4, 2019, from <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/es/pdf/2017/05/beyond-the-hype-industry-4-0.pdf>
- GEFCO. (2019, Junio 19). *Inventarios de almacén utilizando drones*. Retrieved Junio 3, 2019, from GEFCO: <https://es.gefco.net/es/murodenoticias/detail/news/inventarios-de-almacen-utilizando-drones/>
- Geiger, J. (2018). *Smartglasses for the Virtual Workplace*. Retrieved Mayo 13, 2019, from <https://www.dekra-solutions.com/2018/03/smartglasses-for-the-virtual-workplace/?lang=en>
- Genovesi, S., Costa, F., Borgese, M., Dicandia, F. A., Monorchio, A., & Manara, G. (2017). Chipless RFID Sensor for Rotation Monitoring. *IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA)*, (pp. 233-236). Warsaw, Poland. doi:10.1109/RFID-TA.2017.8098885
- Gesing, B., Peterson, S., & Michelsen, D. (2018). *Artificial intelligence in logistics*. Troisdorf, Germany: DHL Customer Solutions & Innovation. Retrieved from <https://www.logistics.dhl/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-artificial-intelligence-in-logistics-trend-report.pdf>
- Glockner, H., Jannek, K., Mahn, J., & Theis, B. (2014). *Augmented reality in Logistics. Changing the way we see logistics- a DHL perspective*. Troisdorf, Germany: DHL Trend Research.
- Grupo Banco Mundial. (2019). *Indicadores de desarrollo mundial*. Recuperado el 25 de enero de 2019, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/it.net.user.zs?end=2017&start=2009&view=chart>

- GTG ingenieros. (2018). *Cinco beneficios de la Industria 4.0*. Recuperado el 5 de Mayo de 2019, de <https://gtg.es/2018/03/06/cinco-beneficios-la-industria4-0/>
- Guide, V. D., & Van Wassenhove, L. N. (2002). The Reverse Supply Chain. *Hary Bus*(80), 25-26.
- Hidalgo, F., Aranda, D., Pascual, J., & Smith, A. (2017). Empty container stacking operations: case study of an empty container depot in Valparaiso Chile. In W. K. Chan, A. D'Ambrogio, G. Zacharewicz, N. Mustafee, G. Waive, & E. Page (Ed.), *Winter Simulation Conference*, (pp. 3114-3125). Washington, DC, USA. doi:10.1109/WSC.2016.7822419
- Himperich, F. (2007). Applications of Augmented Reality in the Automotive Industry. *Citiseer*, 1-12. Retrieved Mayo 12, 2019, from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.1415&rep=rep1&type=pdf>
- Hock, J., Goh, C., Flores, A., & Yun, L. (2017). *Energy efficient through life smart design, manufacturing and operation of ships in industry 4.0*. University of Glasgow and Sembcorp Marine Ltd, Environment School of Engineering, Singapore.
- Huang, R., & Xu, W. (2015). Performance Evaluation of Enabling Logistic Regression for Big Data with R. *IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, (pp. 2517-2524). Santa Clara, CA, USA. doi:10.1109/BigData.2015.7364048
- IVACE. (2016). *Informe sobre el Estado del Arte de la Industria 4.0*. Valencia: Sistemas Avanzados de eficiencia productiva para la Industria 4.0, Generalitat Valenciana.
- Jianli, S. (2012). Design and Implementation of IOT -Based Logistics Management System. *IEEE*, 603-606.
- Johns, V. (2018, Diciembre 13). *BMW aumenta el ritmo de la Industria 4.0*. Retrieved Mayo 12, 2019, from Automotive Logistics: <https://automotivelogistics.media/es/noticias/bmw-aumenta-el-ritmo-de-la-industria-4-0>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0*. Acatech National Academy of Science and Engineering, Frankfurt.
- Knight, W. (2018, Enero 16). *Los robots más inteligentes que nos acompañarán en 2018*. Retrieved Mayo 18, 2019, from MIT Technology Review: <https://www.technologyreview.es/s/9915/los-robots-mas-inteligentes-que-nos-acompanaran-en-2018>
- Lafuente, R. (2011). *La fabricación aditiva conduce a una nueva revolución industrial*. Retrieved Febrero 3, 2019, from https://www.tendencias21.net/La-Fabricacion-Aditiva-conduce-a-una-nueva-revolucion-industrial_a8558.html



- Lambert, D. M. (2004). The Eight Essential Supply Chain Management Processes. *Supply Chain Management Review*, 18-26.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*(521), 436-444.
- Leriche, D., Oudani, M., Cabani, A., Hoblos, G., Mouza, J., Boukachour, J., & Hilali Alaoui, A. (2015). Simulating new logistics system of Le Havre Port. *ELSEVIER*, 48(3), 418-423.
- Li , W., Li, S., Zhang, X., & Pan , Q. (2018). Optimization Algorithm Research of Logistics Distribution Path Based on the Deep Belief Network. *17th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES)*, (pp. 60-63). Wuxi, China. doi:10.1109/DCABES.2018.00025
- Li, S., Yan , J., & Li, L. (2018). Automated Guided Vehicle: the Direction of Intelligent Logistics. *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, (pp. 250-255). Singapore, Singapore. doi:10.1109/SOLI.2018.8476726
- Lin, Y.-S., Zhang , Y., Lin , I.-C., & Chang, C.-J. (2018). Predicting Logistics Delivery Demand with Deep Neural Networks. *7th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)*, (pp. 294-297). Oxford, UK. doi:10.1109/ICITM.2018.8333964
- Liu , J., & Zhu, B. (2017). An Intelligent Personal Assistant Robot: BoBi Secretary. *2nd International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)*, (pp. 402-407). Hefei, China. doi:10.1109/ICARM.2017.8273196
- López, J. (2010). *Incorporación de la Logística Inversa en la cadena de suministros y su eficiencia en la estructura organizativa de las empresas*. Tesis , Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Lowe's. (2016, Agosto 2016). *Lowe's Home Improvement*. Retrieved from Youtube: https://www.youtube.com/watch?time_continue=58&v=hP3yfGHTXFo
- Lv, H., & Tang, H. (2011). Machine Learning Methods And Their Application Research. *International Symposium on Intelligence Information Processing and Trusted Computing*, (pp. 108-110). Wuhan, Hubei, China. doi:DOI 10.1109/IPTC.2011.34
- Lv, Y., Tu, L., Lee, C. K., & Tang, x. (2018). IoT based Omni-Channel Logistics Service in Industry 4.0. *International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, (pp. 240-243). Singapore, Singapore. doi:10.1109/SOLI.2018.8476708
- Macaulay, J., & Kückelhaus, M. (2015). *Internet of Things in logistics*. Troisdorf, Germany: Cisco Consulting Services & DHL Trend Research.
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 3, 164-173. Retrieved from http://file.scirp.org/pdf/JCC_2015052516013923.pdf

- Maestre, R. J. (2018, Noviembre 15). *Blockchain en el sector de la logística: trazabilidad y transparencia*. Retrieved Mayo 18, 2019, from iebes: <https://www.iebschool.com/blog/blockchain-logistica/>
- Maria, A. (1997). INTRODUCTION TO MODELING AND SIMULATION. *Winter Simulation Conference* (pp. 7-13). Binghamton: State University of New York at Binghamton.
- Meindl, P., & Chopra, S. (2008). *Administración de la cadena de suministro: Estrategia, Organización y Operación* (3 ed.). México: Pearson Education.
- Midrack, R. L. (15 de Marzo de 2019). *Lifewire*. Recuperado el 18 de Mayo de 2019, de <https://www.lifewire.com/amazon-delivery-drones-4155300>
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2017). *La industria conectada 4.0*. Recuperado el 5 de Mayo de 2019, de <http://www.industriaconectada40.gob>.
- Murauer, N., & Gehrlacher, S. (2018). Evaluation of Order Picking Processes Regarding the Suitability of Smart Glasses-Based Assistance Using Rasmussen's Skills-Rules-Knowledge Framework. *Advances in Intelligent Systems and Computing, AISC, 793*, 13-24. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94196-7_2
- Naidi, V., Mudliar, K., Naik, A., & Bhavathankar, P. P. (2018). A Fully Observable Supply Chain Management System Using Block Chain and IoT. *3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, (pp. 1-4). Pune, India. doi:10.1109/I2CT.2018.8529725
- Nakasumi, M. (2017). Information Sharing for Supply Chain Management based on Block Chain Technology. *19th Conference on Business Informatics (CBI)*, (pp. 140-149). Thessaloniki, Greece. doi:10.1109/CBI.2017.56
- Novak-Marcincin, J., Novakova-Marcincinova, L., Janak, M., & Fecova, V. (2012). Simulation of Flexible Manufacturing Systems for Logistics Optimization. *4th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics*, (pp. 37-40). Smolenice, Slovakia. doi:10.1109/LINDI.2012.6319506
- Oltra, R. F. (2013). *La Logística inversa: Diferencias con la logística directa*. Universitat Politècnica de València, Organización de Empresas, Valencia.
- Paniagua, E. (2018). *Big Data. El poder de los datos*. Fundación Innovación Bankinter. Retrieved Mayo 29, 2019, from <https://www.fundacionbankinter.org/documents/20183/42758/Publicaci%C3%B3n+Big+data/cc4bd4e9-8c9b-4052-8814-ccb48324147>
- Pardo, N. (2015). *China, Asia Carve out stake in Industry 4.0*. Retrieved Febrero 5, 2019, from <https://www.ptc.com/en/product-lifecycle-report/china-asia-carve-out-stake-in-industry-4-0>



- Pérez, M., Saucedo, J. A., Salais, T. E., & Marmolejo, J. A. (2017). Caracterización de modelo de negocio en el marco de industria 4.0. *Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro* (pp. 1-11). México: Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro.
- Pirzadeh, P., Carey, M., & Westmann, T. (2017). A Performance Study of Big Data Analytics Platforms. *International Conference on Big Data (Big Data)*, (pp. 2911-2920). Boston, MA, USA. doi:10.1109/BigData.2017.8258260
- Precision. (2019). *Could Blockchain revolutionize parcel shipping?* Estados Unidos: Precision, a division of QAD. Retrieved Mayo 29, 2019, from https://www.fedex.com/content/dam/fedex/us-united-states/Compatible-Solutions/images/2019/Q2/Could_Blockchain_Revolutionize_Parcel_Shipping_V2_50457811.pdf
- Quijada, V. H. (2012). *Evolución de la logística a través del tiempo*. Recuperado el 6 de Febrero de 2019, de Universidad de San Martín de Porres, Facultad de Derecho: http://www.derecho.usmp.edu.pe/Itaest_Articulos_Estudiantiles/04-2012_Evolucion_de_la_logistica_a_traves_del_tiempo.pdf
- Ramirez, D. J. (2017). La importancia del Internet de las cosas en el transporte y la distribución. *CISCM*, 1-9.
- Rastogi, R. (2017). Machine Learning @ Amazon. *The 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval*, (pp. 1337-1338). New York, NY, USA. doi:10.1145/3209978.3210211
- Renault. (2019). *Renault truck adopts drone inventory and photography solutions*. Retrieved Junio 3, 2019, from Renault Trucks: <https://corporate.renault-trucks.com/en/press-releases/renault-trucks-adopts-drone-inventory-and-photography-solutions.html>
- Rentero, A. (2018). *La logística Inversa: ¿qué es y para qué sirve?* Recuperado el 21 de Marzo de 2019, de <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/la-logistica-inversa-que-es-y-para-que-sirve/>
- REVLOG. (2004). *European Working Group on Reverse Logistics*. Retrieved Febrero 20, 2019, from <https://www.rev-log.com/>
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *IJIM*, 11(5), 77-90. Retrieved Marzo 3, 2019, from <https://online-journals.org/index.php/ijim/article/viewFile/7072/4532>
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). *The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. The Boston Consulting Group.
- Sánchez, V., Cuenca, F., & Puertas, M. (2017). *Cómo impacta blockchain en la logística 4.0*. Minsait Indra, Madrid. Retrieved Mayo 18, 2019, from

- https://www.minsait.com/sites/default/files/newsroom_documents/informe_blockchain_logistica_uno_e_0.pdf
- Scanlan, M. (2018). *Simulación de Manufactura para Industria 4.0*. Retrieved Junio 8, 2019, from USA engineering: <https://www.engusa.com/es/posts/simulacion-de-manufactura-para-industria-4-0>
- Scott, J. E., & Scott, C. H. (2017). Drone Delivery Models for Healthcare. *50th Hawaii International Conference on System Sciences*, (pp. 3297-3304). Hawaii, USA.
- Servera, D. (2010). Concepto y evolución de la función logística. (U. c. Valencia, Ed.) *Innovar journal*, 217-134.
- Sevilla, A. (2012). *Logística*. Recuperado el 4 de Febrero de 2019, de <https://economipedia.com/definiciones/logistica.html>
- Shah, S., Naghi Ganji, E., Mabbott, O., & Bate, J. (2018). Innovation and I4.0 Management in Connected and Autonomous Automotive Manufacturing. *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, (pp. 1-8). Stuttgart, Germany. doi:10.1109/ICE.2018.8436262
- Shiji Group. (2019). *Worldwide Directory*. Retrieved Junio 10, 2019, from Shiji: <https://www.shijigroup.com/worldwide-directory/apac>
- Sick. (2018). *Automated tote identification with RFID*. Retrieved Mayo 24, 2019, from Sick, Sensor Intelligence: <https://www.sick.com/be/en/industries/handling-and-assembly-technology/small-part-assembly-example-of-final-assembly-involving-a-sensor/fully-automated-infeed-for-final-assembly/automated-tote-identification-with-rfid/c/p409302>
- stocklogistics. (2018). *Los usos del Blockchain en la logística*. Retrieved Marzo 15, 2019, from stocklogistics: <https://www.stocklogistic.com/blockchain-logistica/>
- Su, J., Wang, C., Mo, Y., Zeng, Y., Chang, W., Chen, L., . . . Chuang, C. (2017). An intelligent Logistics Systema Based in Internet of Things. *IEEE*, 331-334.
- Sun, X., Wu, C.-C., & Chen, L.-R. (2018). An automated warehouse sorting system for small manufacturing enterprise applying discrete event simulation. *2nd IEEE Advanced Information Management,Communicates,Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, (pp. 1597-1601). Xi'an, China. doi:10.1109/IMCEC.2018.8469264
- Tibben-Lembke, R. S., & Rogers, D. S. (2002). Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Supply Chain Management journal*, 7, 271-282.
- Transgesa. (2016). *El futuro de la logística y el IoT*. Retrieved Junio 11, 2019, from Transgesa: <https://www.transgesa.com/blog/logistica-internet-de-las-cosas/>
- Walker, J. (2019). *Inventory Management with Machine Learning – 3 Use Cases in Industry*. Retrieved Junio 5, 2019, from BUSINESS INTELLIGENCE AND ANALYTICS:



- <https://emerj.com/ai-sector-overviews/inventory-management-with-machine-learning/>
- White, M. (2018). *Blockchain Pulse: IBM Blockchain Blog*. Retrieved Junio 3, 2019, from IBM: <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2018/01/digitizing-global-trade-maersk-ibm/>
- Xiang, P. (2017). Design on Planning Simulation of Integrated Logistics System. *2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control* , (pp. 2029-2033). Chongqing, China. doi:10.1109/IAEAC.2017.8054372
- Ximénez, P. (2019). *El País*. Retrieved Mayo 25, 2019, from Tecnología: https://elpais.com/tecnologia/2019/04/22/actualidad/1555958756_559878.html
- Young, Y., Long, Y., & Taylor, M. (2005). The role of transportation in logistics chain. (T. E. Stusies, Ed.) *Dialnet*, 5, 1657-1672.
- Zeng, A., Yu, K.-T., Song, S., Suo, D., Walker, E., Rodriguez, A., & Xiao, J. (2017). Multi-view self-supervised deep learning for 6D pose estimation in the Amazon Picking Challenge. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, (pp. 1386-1393). Singapore, Singapore. doi:10.1109/ICRA.2017.7989165
- Zhong, R., Lan, S., Dai, Q., & Huang, G. (2016). Visualization of RFID-enabled shopfloor logistics Big Data in Cloud Manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(4), 5-16.