



---

**Universidad de Valladolid**



**Escuela de Ingenierías Industriales**



TRABAJO FIN DE MÁSTER

# **ESTUDIO DE LAS TECNOLOGIAS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA LOGÍSTICA INTERNA**

Autor: María Antonia Díaz Leal

Tutores: Pedro Sanz Angulo

Jesús Galindo Melero

Valladolid, julio de 2022





## Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres por su apoyo incondicional. A mi pareja por haberme animado y apoyado hasta el final de mi máster académico. A mi tutor por sus comentarios, sugerencias y tiempo dedicado.





## Resumen

En este momento, cada vez más empresas adoptan las tecnologías emergentes de la industria 4.0 (*big data*, *internet of thing*, *blockchain*, realidad aumentada, gemelos digitales, fabricación aditiva, impresión 3D, robotización, *machine learning*, AGV y AMR). La digitalización en el sector industrial está permitiendo transformar los sistemas convencionales en sistemas “inteligentes”, gracias al empleo de nuevas tecnologías que son fruto de la cuarta revolución industrial. En este contexto, la industria 4.0 influye en el sector de la logística, planteando nuevos retos y desafíos al emplear las nuevas herramientas.

En el presente documento se analiza cómo la logística interna es capaz de integrar en sus procesos las tecnologías desarrolladas para la industria 4.0 a través de una investigación exhaustiva en las diferentes bases de datos especializadas como Scopus, WOS, Google académico, ..., con el objetivo de encontrar aplicaciones o casos de estudio de estas tecnologías en el ámbito de la logística interna.

Además, se realiza un diagnóstico en una empresa de alimentación de Zamora, con el fin de generar valor agregado al trabajo y poder aplicar la investigación a la parte industrial. Este diagnóstico se divide en tres secciones: la observación directa, es decir, estar inmersa en el día a día de las operaciones de la empresa; la realización de una encuesta a algunos de los involucrados en los procesos de logística interna; y la aplicación de un modelo de madurez.

**PALABRAS CLAVE:** Industria 4.0, logística 4.0, tecnologías habilitadoras, logística interna, gemelos digitales, realidad aumentada robótica y automatización, IA, internet de las cosas, *Blockchain*, *Big Data*.



## Abstract

Now, more and more companies are adopting emerging technologies (big data, internet of thing, blockchain, augmented reality, digital twins, additive manufacturing, 3D printing, robotization, machine learning, AGV and AMR). Digitalization in the industrial sector is making it possible to transform conventional systems into "smart" systems, thanks to the use of new technologies that are the result of the fourth industrial revolution. Therefore, Industry 4.0 influences the logistics sector, posing new challenges and challenges when employing the new tools. This paper discusses how internal logistics can integrate the technologies developed for Industry 4.0 into its processes.

This paper analyzes how internal logistics can integrate in its processes the technologies developed for Industry 4.0 through exhaustive research in different specialized databases such as Scopus, WOS, Google Scholar, ..., with the aim of finding applications or case studies of these technologies in the field of internal logistics.

In addition, a diagnosis is carried out in a food company in Zamora, to generate added value to the work and to be able to apply the research to the industrial part. This diagnosis is divided into three sections: direct observation, that is, being immersed in the day-to-day operations of the company; conducting a survey to some of those involved in the internal logistics processes; and the application of a maturity model.

**KEY WORDS:** Industry 4.0, logistics 4.0, enabling technologies, internal logistics, digital twins, augmented reality robotics and automation, internet of things, Blockchain, Big Data



## Índice

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>- 6 -</b>
<b>Índice .....</b>	<b>- 7 -</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>- 11 -</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>- 12 -</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>- 13 -</b>
1.1. <i>Antecedentes .....</i>	<i>- 13 -</i>
1.2. <i>Motivación .....</i>	<i>- 14 -</i>
1.3. <i>Objetivos y alcance .....</i>	<i>- 15 -</i>
1.4. <i>Estructura del documento .....</i>	<i>- 16 -</i>
<b>2. Gestión de la logística .....</b>	<b>- 17 -</b>
2.1. <i>Introducción .....</i>	<i>- 17 -</i>
2.2. <i>Definición de logística .....</i>	<i>- 18 -</i>
2.3. <i>Origen y evolución .....</i>	<i>- 18 -</i>
2.4. <i>Relación de la logística con producción .....</i>	<i>- 20 -</i>
2.5. <i>Logística interna .....</i>	<i>- 21 -</i>
2.6. <i>La cadena de suministro .....</i>	<i>- 21 -</i>
2.6.1. <i>Integración de la cadena de suministro .....</i>	<i>- 24 -</i>
2.6.2. <i>Objetivo de la cadena de suministro .....</i>	<i>- 24 -</i>
2.6.3. <i>Decisiones en la cadena de suministro .....</i>	<i>- 25 -</i>
2.7. <i>Tendencias de la logística y la cadena de suministro .....</i>	<i>- 26 -</i>
2.8. <i>Las TIC y la logística .....</i>	<i>- 27 -</i>
2.8.1. <i>Importancia de las TIC en la cadena de suministro .....</i>	<i>- 28 -</i>
2.8.2. <i>TIC existentes en la logística empresarial .....</i>	<i>- 29 -</i>



<b>3. Logística 4.0</b> .....	<b>- 32 -</b>
3.1. <i>Introducción</i> .....	- 32 -
3.2. <i>Industria 4.0</i> .....	- 33 -
3.2.1. Historia y evolución.....	- 33 -
3.2.2. Industria 4.0, la cuarta revolución industrial.....	- 34 -
3.3. <i>Perspectiva de la industria 4.0</i> .....	- 36 -
3.4. <i>Logística 4.0</i> .....	- 36 -
3.4.1. La logística en el entorno 4.0.....	- 38 -
3.4.2. Retos de la logística 4.0 .....	- 39 -
3.5. <i>Factores de éxito en la logística 4.0</i> .....	- 41 -
3.6. <i>Qué se espera en el futuro</i> .....	- 43 -
<b>4. Estudio de las soluciones aplicadas en la logística interna 4.0. Parte I</b> .....	<b>- 45 -</b>
4.1. <i>Introducción</i> .....	- 45 -
4.2. <i>Big Data</i> .....	- 47 -
4.2.1. Aplicación en WALMART .....	- 49 -
4.2.2. Caso de estudio en una fábrica de automóviles .....	- 49 -
4.2.3. Aplicación en CJ LOGISTICS.....	- 50 -
4.3. <i>Internet de las cosas</i> .....	- 51 -
4.3.1. Aplicación en un almacén de DHL en colaboración con CISCO .....	- 53 -
4.3.2. Aplicación en Siemens .....	- 54 -
4.4. <i>Blockchain</i> .....	- 55 -
4.4.1. Aplicación en RCS Global en colaboración con IBM .....	- 57 -
4.4.2. Aplicación en DHL en asociación con Accenture.....	- 57 -
4.4.3. Aplicación en IBM (Food trust).....	- 58 -
4.5. <i>Inteligencia artificial</i> .....	- 58 -
4.5.1. Aplicación del IA: programa "Zalando".....	- 60 -
4.5.2. Aplicación en Hospital Universitario de Odense .....	- 60 -
4.6. <i>Machine Learning</i> .....	- 61 -
4.6.1. Aplicación de algoritmos de aprendizaje automatizado en la gestión de inventarios ....	- 63 -
4.6.2. Aplicación en Hitachi empresa de electrónica .....	- 64 -
<b>5. Estudio de las soluciones aplicadas en la logística interna 4.0. Parte II</b> .....	<b>- 65 -</b>
5.1. <i>Robótica y automatización</i> .....	- 65 -
5.1.1. Aplicación de Boston Dynamic (Stretch).....	- 66 -
5.1.2. Aplicación en Ericsson con Telecom .....	- 67 -
5.2. <i>Vehículo de guiado automático y Robot móvil autónomo</i> .....	- 68 -
5.2.1. Aplicación de un AMR: Robot Móvil Omron.....	- 70 -
5.2.2. Aplicación en Seat: AMRS EffiBOT .....	- 70 -
5.2.3. Aplicación en Amazon: KIVA .....	- 71 -
5.3. <i>Realidad aumentada</i> .....	- 72 -
5.3.1. Aplicación de DHL con Ricoh: Vision Picking .....	- 73 -





5.3.2.	Aplicación en IKEA .....	- 74 -
5.4.	<i>Impresión en 3D</i> .....	- 74 -
5.4.1.	Aplicación en Panalpina y DHL.....	- 76 -
5.4.2.	Aplicación en Galletas Gullón.....	- 76 -
5.5.	<i>Simulación y gemelos digitales</i> .....	- 77 -
5.5.1.	Caso de estudio. Gemelos digitales para la mejora de los AMR .....	- 79 -
5.5.2.	Diseño e implementación de un modelo ciberfísico universal y un gemelo digital mediante el uso de sensores de color .....	- 81 -
5.5.3.	Aplicación en General Electric .....	- 83 -
5.6.	<i>RFID</i> .....	- 83 -
5.6.1.	Aplicación. Caso de estudio de AGV que utilizan RFID.....	- 85 -
5.6.2.	Aplicación en Lululemon.....	- 87 -
5.6.3.	Aplicación del fabricante Cobots Fetch Robotics en asociación con Surgere .....	- 87 -
5.6.4.	Aplicación en DHL .....	- 88 -
<b>6.</b>	<b>Caso de estudio. Diagnóstico de la logística 4.0 en una empresa de alimentación en Zamora, España y propuesta de aplicación.....</b>	<b>- 89 -</b>
6.1.	<i>Introducción</i> .....	- 89 -
6.2.	<i>Diagnóstico de la logística 4.0 en una empresa de alimentos en Zamora, España...</i>	- 90 -
6.2.1.	Diagnóstico de logística 4.0 mediante encuesta.....	- 90 -
6.2.2.	Diagnostico mediante la aplicación de un modelo de madurez .....	- 93 -
6.3.	<i>Propuesta según el diagnóstico y las tecnologías de la industria 4.0 investigadas...</i>	- 98 -
<b>7.</b>	<b>Estudio económico .....</b>	<b>- 101 -</b>
7.1.	<i>Introducción</i> .....	- 101 -
7.2.	<i>Profesionales que intervienen en el proyecto</i> .....	- 101 -
7.3.	<i>Definición de las fases del proyecto.</i> .....	- 102 -
7.4.	<i>Costes de elaboración del proyecto</i> .....	- 104 -
7.5.	<i>Horas efectivas anuales y tasas horarias del personal</i> .....	- 105 -
7.6.	<i>Cálculo de amortizaciones</i> .....	- 106 -
7.7.	<i>Coste del material consumible</i> .....	- 107 -
7.8.	<i>Costes indirectos</i> .....	- 107 -
7.9.	<i>Horas del personal dedicadas a cada fase del proyecto</i> .....	- 107 -
7.10.	<i>Costes asignados a cada fase del proyecto</i> .....	- 108 -
7.10.1.	Costes asignados a la fase 1: motivación del proyecto .....	- 109 -
7.10.2.	Costes asignados a la fase 2: puesta en marcha del proyecto.....	- 109 -
7.10.3.	Costes asignados a la fase 3 y 4: recopilación de información elaboración de la memoria.....	- 109 -
7.10.4.	Costes asignados a la fase 5: difusión de las soluciones y el diagnóstico .....	- 109 -
7.11.	<i>Coste total del proyecto.</i> .....	- 110 -



---

<b>8. Conclusiones y líneas futuras .....</b>	<b>111</b>
8.1. Conclusiones.....	111
8.2. Líneas futuras .....	112
<b>9. Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>113</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>121</b>
10.1. ANEXO I: Diseño de la encuesta aplicada a la empresa de alimentación .....	121
10.2. Diseño y aplicación del modelo de madurez .....	122



## Índice de figuras

Ilustración 1. Relación de producción con la logística - Flujo físico y de información en ambas direcciones. (Torres & Prado, 2021)-----	20 -
Ilustración 2. Logística de la cadena de suministro (Frazelle, 2002).-----	23 -
Ilustración 3. Ejemplo de una red de suministro (Chopra & Meindl, 2013).-----	23 -
Ilustración 4. Partes de la cadena de suministro. (García, 2016)-----	24 -
Ilustración 5. Número de empresas del sector TIC en España (2014-2019). (Economicos, 2020).-----	28 -
Ilustración 6. Mapa de las TIC aplicadas en la gestión de suministro (Asmae & Rhizlane, 2020)-----	29 -
Ilustración 7. Clasificación de la literatura de investigación (Ynzunza-Cortés et al., 2017)-----	35 -
Ilustración 8. Evolución de la logística (R & M, 2019)-----	37 -
Ilustración 9. Tecnologías en la Industria 4.0 (Efthymiou & Ponis, 2021)-----	46 -
Ilustración 10. Tecnologías de la logística interna (Cano et al., 2021)-----	46 -
Ilustración 11. Estimación del crecimiento en el uso de dispositivos IOT (Rozo-García, 2020)-----	53 -
Ilustración 12. Monitorización de las actividades del almacén mediante IoT (Gutierrez, 2017)-----	53 -
Ilustración 13. Smart sensor de DHL (DHL, 2020)-----	54 -
Ilustración 14. La tecnología Blockchain en la cadena de suministro (Raja Santhi & Muthuswamy, 2022)-----	56 -
Ilustración 15. IBM Foof Trust (IBM, 2022)-----	58 -
Ilustración 16. Zalando, optimización de la ruta de <i>picking</i> con IA (Palma & Marín, 2018).-----	60 -
Ilustración 17. Ejemplo de aplicabilidad de robotización Stretch (Rollo, 2022)-----	67 -
Ilustración 18. Experimentación de la robótica en la nube en el laboratorio de automatización industrial de Comau en Turín (Italia) (Ericsson.com, 2018)-----	68 -
Ilustración 19. AMRS, Robot móvil Omron (Torino & Vacca, 2018)-----	70 -
Ilustración 20. AMRS EffiBOT del fabricante automovilístico Seat (Mercantil, 2021)-----	71 -
Ilustración 21. El Kiva Mobile-robotic Fulfillment System - Fuente: (Torino & Vacca, 2018)-----	72 -
Ilustración 22. Arrastradores de las bandejas de galletas (Sinovac, 2022)-----	77 -
Ilustración 23. Representación de un modelo Digital (Moshood et al., 2021)-----	78 -
Ilustración 24. Robot móvil autónomo bajo el carro de transporte (Stączek et al., 2021)-----	80 -
Ilustración 25. Vista del gemelo digital de la nave industrial real (Stączek et al., 2021)-----	80 -
Ilustración 26. Visualización del gemelo digital del AMRS real en el simulador Gazebo (Stączek et al., 2021)-	81 -
Ilustración 27. Visualización del puesto de trabajo robótico y visualización del estado de la producción en la pantalla (Vachálek et al., 2021).-----	82 -
Ilustración 28. Alcance de las tecnologías inalámbricas (Heuter & Kueckelhaus, 2020)-----	83 -
Ilustración 29. Montajes de lectores RFID para los AGV y rodamientos para Karl (Mehami et al., 2018)-----	86 -
Ilustración 30. AGV Jimmy y Karl (Mehami et al., 2018)-----	86 -
Ilustración 31. Escenario de fábrica completo de ambos AGV (Mehami et al., 2018)-----	86 -
Ilustración 32. Robots móviles autónomos con lectores RFID(Heuter & Kueckelhaus, 2020).-----	88 -
Ilustración 33. Pregunta uno de la encuesta-----	91 -
Ilustración 34. Pregunta dos de la encuesta-----	92 -
Ilustración 35. Pregunta cuatro de la encuesta-----	92 -
Ilustración 36. Pregunta ocho de la encuesta-----	92 -
Ilustración 37. Pregunta 16 de la encuesta-----	93 -
Ilustración 38. Pregunta 37 de la encuesta-----	93 -
Ilustración 39. Organización del proyecto-----	102 -
Ilustración 40. Fases del proyecto con sus respectivas fechas-----	103 -
Ilustración 41. Fases del proyecto-----	103 -
Ilustración 42. Estudio de tiempos del personal del proyecto-----	108 -
Ilustración 43. Costes por fases-----	110 -



## Índice de tablas

Tabla 1. Factores críticos para la adopción exitosa de la logística 4.0 (Khan et al., 2022). .....	- 42 -
Tabla 2. Determinación de las dimensiones y subdimensiones .....	- 95 -
Tabla 3. Determinación de los niveles (Olessków-Szłapka et al., 2019) .....	- 95 -
Tabla 4. Resultados de la aplicación del modelo de madurez .....	- 97 -
Tabla 5. Propuesta de las soluciones tecnológicas para la industria 4.0 .....	- 98 -
Tabla 6. planificación inicial de la implementación de la propuesta de las alternativas .....	- 99 -
Tabla 7. Días efectivos anuales .....	- 105 -
Tabla 8. Semanas efectivas anuales. ....	- 105 -
Tabla 9. Costes del equipo del proyecto.....	- 106 -
Tabla 10. Amortización del proyecto .....	- 106 -
Tabla 11. Coste del material consumible del proyecto .....	- 107 -
Tabla 12. Costes indirectos .....	- 107 -
Tabla 13. Horas del personal dedicadas a cada fase del proyecto .....	- 108 -
Tabla 14. Costes de la fase 1: motivación del proyecto.....	- 109 -
Tabla 15. Puesta en marcha del proyecto .....	- 109 -
Tabla 16. Coste de la fase 3 y 4: recopilación de información y elaboración de la memoria .....	- 109 -
Tabla 17. Costes de la fase 5: difusión de las soluciones y el diagnóstico .....	- 109 -
Tabla 18. Coste total del proyecto.....	- 110 -



## Introducción

### 1.1. Antecedentes

Desde hace varios años las empresas se enfrentan a una competencia global, por lo que tienden a orientarse hacia la industria 4.0 y, sobre todo, a mejorar sus procesos logísticos para así competir y sobrevivir a los mercados globales. La industria 4.0 representa un enfoque prometedor para hacer frente a los cambios que están surgiendo hoy en día y sobre todo con la necesidad de una rápida adaptación de la producción a las demandas cambiantes que está experimentando el mercado.

Por consiguiente, la estrategia de las empresas es hacia un futuro en el que tengamos una visión perfecta no solo de dónde está una pieza, sino que también será necesario saber quién la tuvo en sus manos, dónde y cuándo se movió. Esto no se puede lograr sin sistemas de información perfectos que se deben garantizar no solo durante la producción, sino también durante las operaciones de almacenamiento, entrega de material e incluso durante el retorno de la producción hacia el almacén. Una visión completa de la información y la trazabilidad de los materiales se realizará mediante varias tecnologías que se tratan en este documento.

La cuarta revolución industrial está caracterizada por la aparición de nuevas tecnologías como el *Big Data*, internet de las cosas, *Machine Learning*, gemelos digitales, realidad aumentada, identificación mediante RFID, entre otras, que son la obra de la transformación digital que experimentan la mayoría de las empresas en la actualidad. Si las empresas no se concientizan de los cambios que se están presentando y, sobre todo, de las oportunidades que trae consigo la industria 4.0, corren el riesgo de perder competitividad en los mercados.



La logística 4.0 ha surgido en los últimos años como consecuencia de la cuarta revolución industrial y los logros tecnológicos del siglo XXI, llevando a que las empresas tengan una orientación y ejecución a la logística interna 4.0 (Horenberg, 2017), lo que redundará en beneficios competitivos como la reducción de los costes logísticos, el aumento de la productividad y la eficiencia, además de la mejora de la satisfacción del cliente gracias a la reducción de los plazos de entrega.

También permitirá mejorar la precisión de la información y la capacidad de respuesta, y contribuirá a reducir los costes de los procesos internos, los errores de las actividades (*picking*, suministro de materiales, transporte de materiales), ayudará a reducir los niveles de existencias, mejorará la capacidad de reacción ante los cambios y, sobre todo mejorará las condiciones de trabajo de los operarios. En resumen, las empresas se beneficiarán en gran medida al aplicar las tecnologías que se tratarán en este documento.

Aunque son muchas y variadas las aplicaciones de la industria 4.0, en este documento nos centraremos en el área de logística interna (manipulación, recepción, almacenamiento, transporte interno, *picking* y embalaje), investigando varias soluciones logísticas internas que pueden optimizar los procesos de las empresas mediante la aplicación de las diferentes tecnologías habilitadoras. El propósito último es lograr un sistema logístico interno informatizado, digitalizado e inteligente capaz de trabajar en tiempo real y realizar análisis inteligentes (algo así como una fábrica inteligente).

La logística interna 4.0 ofrece la oportunidad para que las organizaciones optimicen sus operaciones de manera rápida y eficiente, asumiendo retos y responsabilidades, como el formar a los empleados, reclutar nuevos empleados capaces de analizar la información, tomar decisiones, capaces de priorizar.

## 1.2. Motivación

En primer lugar, el trabajo está orientado a la logística interna porque abarca muchas de las actividades y etapas del ciclo de vida de un producto, empezando por la manipulación y almacenamiento de las materias primas y pasando por las diversas etapas de producción, el transporte, el almacenamiento y, finalmente, la entrega del producto terminado. En segundo lugar, está orientado a las tecnologías de la industria 4.0 ya que a medida que me iba familiarizando con el mundo tecnológico comprendía la importancia que tiene tanto a nivel individual como colectivo saber adaptarse a esta nueva era tecnológica, sobre todo porque está dominada por una abundancia de nuevas tecnologías que se han dado desde la última revolución industrial llevando a las empresas a que se enfrenten a varios retos constantemente.

Una de mis motivaciones, por lo tanto, al elegir este tema de TFM radica en dar a conocer algunas de las tantas posibilidades que se tienen para incursionar en la industria 4.0 visto desde la logística interna y que se le pueda dar la



importancia que esta merece. La industria 4.0 está suponiendo cambios sustanciales en las organizaciones, por lo que aquellas empresas que no centren sus esfuerzos en tener una transformación digital no serán competitivas en un mercado cada vez más interconectado y globalizado. Por ello, es importante que las empresas y los profesionales comprendan el potencial que trae consigo la industria 4.0, ya que, el alcance de estas aplicaciones es mucho más amplio de lo que se conoce actualmente, porque afectan no solo al proceso de fabricación, sino también a otras áreas como la logística, medicina, ingeniería, seguridad, etc.

Lo anterior lleva a que motivación principal sea el conocimiento y la aplicación de estas tecnologías. Saber hoy en día que se está utilizando en la logística interna, en qué actividades, qué retos comprenden, ..., pero, sobre todo, saber cómo podemos obtener el mayor beneficio al llevar a las empresas hacia la logística 4.0 reduciendo costes y mejorando los procesos internos.

### 1.3. Objetivos y alcance

El objetivo general del TFM consiste en investigar y analizar las principales tecnologías habilitadoras de la logística 4.0 y conocer cómo se está aplicando en el ámbito de la logística interna. Este estudio nos permitirá diseñar mejoras en la logística interna de una empresa de alimentación en Zamora basadas en las tecnologías habilitadoras de la industria 4.0. Para lograrlo, será necesario realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa de alimentación a través de la aplicación de una encuesta, un modelo de madurez y entrevistas con los responsables de logística y producción.

Para alcanzar los objetivos que se han mencionado, se efectuará una búsqueda bibliográfica en fuentes especializadas como Scopus, WOS, Google académico, repositorio de la Uva, etc. Esta búsqueda incluye: artículos de revistas científicas, libros, informes, conferencias. La búsqueda también se hará en consultoras de tecnología y documentación de empresas líderes en transformación digital.

A continuación, se realizará un estudio más detallado de las tecnologías de la industria 4.0 en el ámbito de la logística interna al revisar detalladamente la documentación ya refinada, permitiendo elaborar la memoria sobre la aplicación de las tecnologías habilitadoras en la logística interna.

Finalmente, se aplicará un diagnóstico para el nivel de aplicación de tecnologías habilitadoras mediante una encuesta, un modelo de madurez y entrevistas con los responsables de logística y producción con el objetivo de proponer la aplicación de unas pocas tecnologías de la industria 4.0 a la empresa de alimentación.



#### 1.4. Estructura del documento

El presente documento consta de cinco capítulos. Los dos primeros capítulos abordan la industria 4.0, la logística interna, logística 4.0, las revoluciones industriales, cuáles son los retos que enfrenta la logística interna 4.0, o qué tendencias existen hoy en día, entre otros.

El tercer y cuarto capítulo consideran las diversas tecnologías y su aplicación en el ámbito de la logística, es decir, se habla de las diferentes soluciones que se han aplicado en la logística interna. Algunas de las soluciones a tratar en este documento son: el desarrollo de unas gafas de realidad aumentada para el *picking*; sensores que se encuentran en los materiales y en los almacenes para supervisar las actividades en tiempo real; la gestión de grandes cantidades de datos; la aplicación de *blockchain* para mejorar la trazabilidad de los productos; la aplicación de inteligencia artificial para calcular las rutas óptimas para los operarios que preparan los pedidos; aplicación de algoritmos de aprendizaje automatizado en la gestión de inventarios; la aplicación de robots para diferentes procesos internos, ..., entre otras.

En el quinto capítulo se realiza un caso de estudio basado en un diagnóstico de logística interna 4.0 en una empresa de alimentos. Como primer paso del diagnóstico se efectuará una encuesta a varios de los actores de la logística interna. Después, se ejecutará el modelo de madurez de (Zoubek & Simon, 2021b) y (Facchini et al., 2020). Se complementará el diagnóstico con unas entrevistas a los responsables de logística y de producción. Para finalizar el capítulo se realiza una propuesta de posibles soluciones tecnológicas de la industria 4.0 con base al diagnóstico, a la investigación en las diferentes bases de datos especializadas y, sobre todo, teniendo en cuenta la propuesta de los responsables.

Para finalizar, se incluye un estudio económico con el propósito de dar una valoración económica aproximada al trabajo, además de las conclusiones del trabajo, referencias bibliográficas y anexos del diseño del diagnóstico.





## 2. Gestión de la logística

### 2.1. Introducción

Al hablar de logística, se suele asociar con temas de transporte y distribución de productos, y en otras ocasiones solo con adquisición. Es importante que cada día se haga énfasis en lo que realmente es la logística y todo lo que esta involucra, por lo que se hace necesario reeducar a aquellos responsables de las diferentes áreas (generales y administrativas), haciéndoles ver que la logística va mucho más allá del transporte (Riquelme, 2011).

Estamos en una época donde la digitalización crece a un ritmo frenético, permitiendo así obtener más información, la automatización de los procesos y una mayor capacidad para anticiparse a los cambios. Además, el COVID-19 no ha hecho más que acelerar el uso de dispositivos electrónicos y todo tipo de herramientas *online*, como demuestran las cifras de *e-commerce* en los últimos años. Sin embargo, no es la única causa; la globalización, la sostenibilidad, la exigencia de los clientes, los ciclos de vida del producto cada vez más cortos y, sobre todo, la satisfacción del cliente, exigen replantearse el modelo logístico actual (Roig & Gutiérrez, n.d.).

En este capítulo se hablará de la logística y de la cadena de suministro como concepto. Se describirá su origen, cómo ha evolucionado a lo largo de la historia y su relación con las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación). También se presentará cómo la logística se ha convertido en una herramienta estratégica para la gestión, donde los avances tecnológicos permiten desarrollar el concepto de la logística que se está aplicando hoy en día.



## 2.2. Definición de logística

El término “*logística*”, del inglés *logistics*, ha sido tomado del ámbito militar para ser utilizado en el mundo empresarial como un conjunto de medios y técnicas para gestionar tanto el flujo de materiales como el flujo de información. A continuación, se mencionan algunas definiciones de diferentes autores y entidades para ampliar dicho concepto.

(Ballou, 2004) considera que la logística es una disciplina que “*planifica, dirige y controla el flujo de materiales, suministros, insumos y productos terminados, así como su almacenamiento eficiente, para satisfacer adecuadamente los requerimientos exigidos por los clientes*”.

(Christopher, 2011), autor del libro “Logistics and Supply Chain Management”, define la logística como “*el proceso de manejar estratégicamente la adquisición, el movimiento y almacenamiento de materiales partes e inventario del 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 eficientes en costes*”.

Según (Frazelle, 2002), en su libro “Supply Chain: the logistics of supply chain Management” la logística es “el flujo de material, información y dinero entre consumidores y proveedores”

En síntesis, según el CEL (Centro Español de Logística) la logística es la “*disciplina o conjunto de actuaciones que pretende mediante una gestión integral de los flujos de materiales e información, optimizar en calidad de servicio y coste los procesos correspondientes a las siguientes actividades: gestión de materiales, producción y distribución*” (Torres & Prado, 2021). La logística trata de maximizar el servicio al cliente, en tiempo, calidad y coste, abasteciendo en la cantidad y lugar correcto.

## 2.3. Origen y evolución

La logística ha existido desde hace mucho tiempo. Su origen se remonta a cuando nuestros antepasados necesitaban almacenar alimentos, pieles, materiales, productos en las cuevas; evidentemente, era una logística mucho más rudimentaria que la actual. El término logística se remonta a la época de la antigua Grecia y al imperio romano, que utilizaban la palabra *logistikos* que significa “*aquel que sabe calcular*” o “*diestro de cálculo*”. Además, existían los *logistikas*, que eran oficiales militares encargados de abastecer al ejército” (Riquelme, 2011).

Antes de la década de 1950, la logística solo se planteaba en términos militares. Este término tenía que ver con la adquisición y transporte de los materiales, recursos y personal militar, así como de otros aspectos tales como el mantenimiento y reparación de las instalaciones donde se depositaban dichos materiales. En las décadas de 1960 y 1970 surgió la logística en términos empresariales (servicio al



cliente, control de inventarios, manutención, gestión de la mercadería, almacenamiento) que estaba relacionado con el estudio y distribución física.

A raíz de los elevados costes logísticos que se acentuaron en 1973 con la crisis del petróleo, generando consigo elevados costes de la energía, materia prima, producción, transporte y almacenaje, las empresas automovilísticas como Toyota comenzaron a aplicar metodologías tales como el Just InTime (JIT). De esta forma, producían solamente lo necesario y en el momento oportuno, logrando aumentar la eficiencia y reducir los costes mediante una reducción o eliminación de desperdicios en el proceso productivo.

A principios de los años 80, la logística empieza a ser considerada como un elemento clave en las organizaciones, pues se confirma que con una buena gestión de la logística se obtienen ventajas competitivas, tanto por innovación y prestación del servicio como por la reducción de costes. Para lograr dichas ventajas primero fue necesario entender la logística como algo global que integra diferentes áreas y actividades. Áreas tales como el aprovisionamiento (incluyendo la relación con los proveedores), la producción y la distribución del producto terminado (entregas a los clientes, servicio posventa y devoluciones).

Durante los años 90 e inicios del siglo XXI se aceleran los procesos de integración de la logística con la globalización y externalización de la producción, llevando así a la internacionalización de las organizaciones. Esta época está marcada sobre todo por internet y las nuevas tecnologías de la información, que permiten la transmisión de una gran cantidad de datos en tiempo real y el seguimiento detallado de todas las actividades que se desarrollan dentro de las organizaciones (Roig & Gutiérrez, n.d.).

La logística en la actualidad se relaciona con el concepto de gestión de la cadena de suministro (SCM, *Supply Chain Management*) que cobra gran relevancia. La gran diferencia entre logística y la gestión de la cadena de suministro radica en que la primera se refiere al conjunto de actividades que se desarrolla dentro de una empresa y su actuación con sus grupos de interés, mientras que la segunda hace referencia a la red de empresas que operan coordinadamente para ofrecer un producto o un servicio, lo que quiere decir que una misma empresa puede estar en varias cadenas de suministro (Torres & Prado, 2021).

En 2020 se produce la crisis sanitaria (COVID-19) que alteró la vida cotidiana a nivel mundial y que, además, no ha hecho más que acelerar el uso de dispositivos electrónicos y herramientas *online* en casi todos los aspectos de la vida, poniendo de manifiesto lo importante que es la logística en las actividades esenciales para la sociedad (Roig & Gutiérrez, n.d.). Para lograr superar esta crisis es necesaria una reconfiguración en toda la cadena de suministro, donde será clave el uso de la tecnología, la innovación, apostar por la sostenibilidad en toda la cadena de suministro y la formación de las personas a nivel directivo, técnico y operativo,

Hoy en día se dispone de una gran variedad de TIC que avanzan a un ritmo frenético, ayudando a gestionar una gran cantidad de datos de forma más rápida y



detallada. Un ejemplo de estas tecnologías que ayudan a mejorar la productividad son los códigos de barras, códigos QR (*Quick Response code*, código de Rápida Respuesta) y la tecnología RFID (*Radio Frequency IDentification*, Identificación por Radio Frecuencia). Estas tecnologías han permitido mejorar las previsiones, la capacidad de toma de decisiones, y optimizar el uso de la maquinaria y los recursos.

Adicionalmente, se han desarrollado otros sistemas y dispositivos como la realidad aumentada, sensores, sistemas de trazabilidad, aplicaciones de gestión de transporte, indicadores de desempeño, ..., que son herramientas fundamentales para la gestión y optimización de los procesos logísticos. Las empresas que trabajan continuamente por ser más productivas se interesan en estar automatizadas y robotizadas.

#### 2.4. Relación de la logística con producción

Este trabajo de investigación se basa en las soluciones dedicadas a la logística interna 4.0; por tanto, es necesario matizar la relación existente entre la logística y producción. Se mencionaba anteriormente que la logística es la gestión de los materiales e información: compras, aprovisionamiento, almacenaje, producción y distribución. Para producir se necesitan de materias primas y componentes, por lo que un flujo eficiente de información y materiales se hace necesario para abastecer a producción y poder fabricar cumpliendo los requerimientos del cliente (conexión de producción y almacenes de materia prima).

Algunas industrias tienen almacenes intermedios (semielaborados), lo que exige gestionar: conteos periódicos, movimientos de productos, ..., entre otros. Y, finalmente, está la relación de producción con los almacenes de producto terminado, donde se lleva a cabo gestión documental, flujo de información y movimiento de productos (Torres & Prado, 2021). En la Ilustración 1 se puede apreciar la relación mencionada.

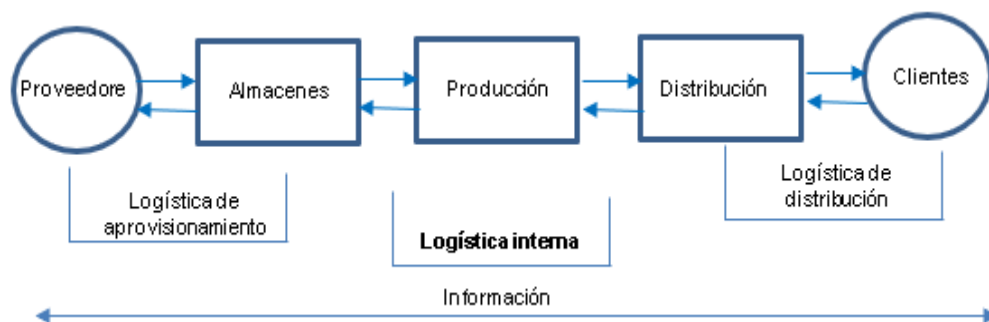


Ilustración 1. Relación de producción con la logística - Flujo físico y de información en ambas direcciones. (Torres & Prado, 2021)

Surgen preguntas acerca de esta relación: ¿cómo se relaciona con los diferentes almacenes (materia prima y producto terminado) ?, ¿qué *layout* se diseña para optimizar los movimientos de los almacenes a producción?, ¿qué herramientas, medios y metodologías se utilizan para optimizar y tener mayores niveles de eficiencia



dentro de la logística interna? En este sentido, como se ha indicado previamente, la relación entre la logística y producción son más estrechas de lo que se suele mencionar y/o reconocer.

La logística pretende, en definitiva, un mejor servicio al cliente (rapidez, calidad y flexibilidad) a un coste razonable, y para ello es fundamental acortar los tiempos de fabricación. Hoy en día la mayoría de empresas medianas y grandes gestionan la logística y la fabricación, realizando inversiones en herramientas y tecnología: radiofrecuencia, vehículos autoguiados, WMS (*Warehouse Management System*, sistema de gestión de almacenes), estanterías, carretillas, robotización de los procesos, implementación de IoT (*Internet of Things*, Internet de las cosas), flexibilización de las operaciones, personalización de los productos, incorporación en la logística 4.0 (*big data*, IA, *blockchain*, ...), logrando tener información en tiempo real y en línea, la cual debe ser fácil de comprender, significativa, fiable y segura (Torres & Prado, 2021).

La logística cada vez es más compleja, se deben tener en cuenta más variables, el mercado es cada vez más exigente y volátil, y se hace mucho más difícil hacer pronósticos. Las empresas están presionadas a ofrecer valor agregado de los diferentes actores (proveedores, clientes, empresas, consumidores, etc.). Si la empresa carece de flexibilidad y agilidad para adaptarse a los cambios que se han estado presentando tendrá problemas serios. Puede reaccionar rápidamente haciendo uso de técnicas como el *big data* y el BI (*Business Intelligence*), es fundamental que las empresas inviertan en comunicación y tecnología (Torres & Prado, 2021).

## 2.5. Logística interna

La logística interna abarca la planificación, la ejecución, el control y el flujo y almacenamiento eficientes de materiales productos semiacabados y acabados en un entorno de producción. Las principales funciones operativas de la logística interna son la manipulación, la recepción y el almacenamiento, el transporte interno el *picking* y el embalaje. La logística interna es totalmente responsable del flujo interno de material e información, conectando así los sistemas internos, desde la zona del almacén de entrada (recepción de mercancías, almacenamiento), pasando por la manipulación interna y el abastecimiento de los puestos de trabajo de producción y montaje, hasta la expedición de mercancías (*Picking*) (Zoubek & Simon, 2021b)

## 2.6. La cadena de suministro

El concepto de la cadena de suministro (*Supply Chain*) fue mencionado por primera vez por Keith Oliver, consultor y experto en logística, en una entrevista que realizaba para el diario Time en la sección de finanzas en los años 80, pero no fue hasta después de los años 90 que el término se hizo popular, debido a las investigaciones que se estaban publicando respecto a este y que en la actualidad es de gran importancia (Tacanga & Shari, 2017).



Según Sunil Chopra, profesor de la escuela de Administración de Kellogg, y Peter Meindl, profesor de la universidad de Stanford, en su libro titulado “*Administración de la cadena de suministro*”, una cadena de suministro está formada por todas las partes interesadas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye al fabricante y al proveedor, además de a los transportistas, clientes, almacenistas, vendedores (mayoristas y minoristas) e implica un constante flujo de información y productos (Chopra & Meindl, 2013).

Según (Luis & Moncayo, n.d.) la cadena de suministro es una red de organizaciones conectadas e interdependientes que trabajan juntas en forma cooperativa para poder controlar, mejorar y manejar el flujo de información y materiales desde el proveedor hasta los clientes.

Para el consejo de profesionales de administración de la cadena de suministro, la cadena de suministro se define como “*la gestión de todas las actividades de la cadena de suministro para maximizar el valor al cliente y lograr una ventaja competitiva sostenible, las cadenas de suministro involucran todo, desde el desarrollo del producto, abastecimiento, manufactura hasta la logística, así como los sistemas de información necesarios para coordinar estas actividades*” (Altez Cárdenas, 2017).

Finalmente, la cadena de suministro hoy en día se ve como un concepto estratégico de las empresas, aplicable tanto de forma interna como externa. Además, abarcan las cadenas de suministro de sus proveedores y clientes para poder cumplir expectativas y necesidades. En todas las definiciones se puede apreciar que la cadena de suministro comienza por la materia prima, que pasa por el proceso de compra y producción, así como la venta y la postventa. Por tanto, en la cadena de suministro intervienen varias etapas y departamentos de una empresa. No obstante, cada industria y empresa tiene su propia cadena de valor, que está organizada de formas diferentes según el entorno y las necesidades internas y externas.

En la Ilustración 2 se pone en manifiesto la interdependencia de los distintos participantes de una cadena de suministro. En resumen, lo mejor que se puede hacer es planificar en colaboración la cadena.

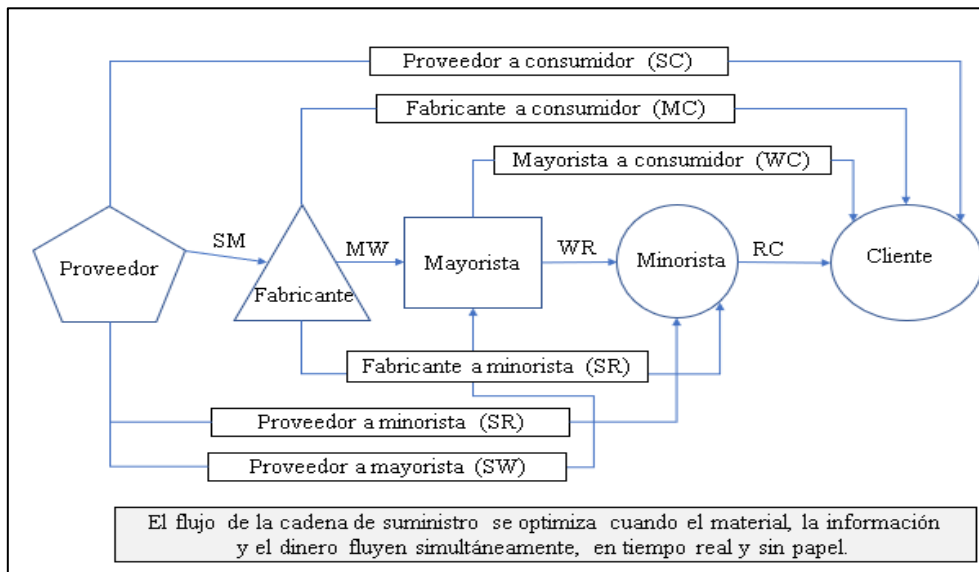


Ilustración 2. Logística de la cadena de suministro (Frazelle, 2002).

Es importante comprender que una cadena de suministro no solo consta de un cliente, un proveedor, un transportista, etc. En realidad, el fabricante puede ser abastecido por varios proveedores y distribuir a múltiples intermediarios y/o clientes, para lo que es más preciso utilizar el término 'red de suministro' (véase en la Ilustración 3). Por lo tanto, la mayoría de las cadenas de suministro, en realidad, son redes.

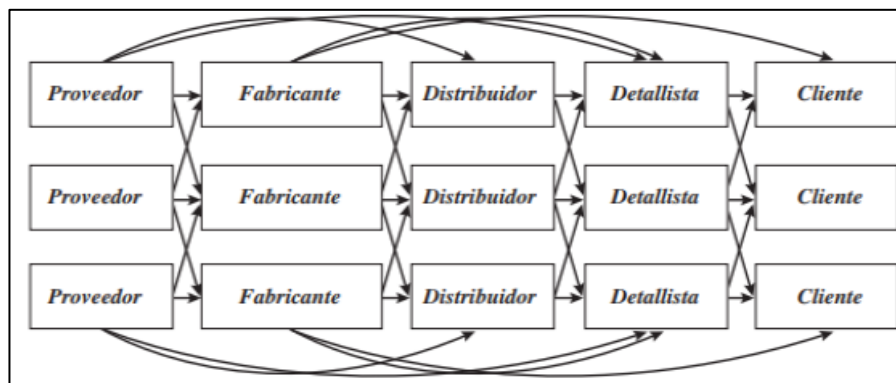


Ilustración 3. Ejemplo de una red de suministro (Chopra & Meindl, 2013).

Hoy en día las empresas prestan más atención a su cadena de suministro ya que, por un lado, las empresas quieren satisfacer las necesidades de los clientes y, por otro, los clientes continuamente demandan productos mejorados por un precio más bajo. Además, existe otra circunstancia cambiante que obliga a las empresas a centrarse en su cadena de suministro: los ciclos cortos de los productos. En este contexto, lo que las empresas hacen es centrarse en su cadena de suministro para reducir costes y mejorar los beneficios.

### 2.6.1. Integración de la cadena de suministro

La forma convencional de una cadena de suministro consiste en proveedores, fabricantes y minoristas o tiendas. Hay varias actividades que deben ser coordinadas a lo largo de la cadena de suministro cuando una empresa quiere integrar la estrategia: reducir costes, mejorar los servicios y optimizar el uso de los recursos. La información y su disponibilidad deben ser muy importantes para la integración de la cadena de suministro, ya que cada industria y empresa dispone de una cantidad diferente de información sobre la que se construye la cadena.

En la tesis doctoral “Gestión de la cadena de suministro: análisis y uso de las TIC y su impacto en la eficiencia” (García, 2016), la cadena de suministro se compone de tres partes integradoras: empresa, proveedor y cliente. En la Ilustración 4 se puede apreciar de forma visual dicha composición. En la primera parte, se encuentra la relación de la empresa con sus proveedores. Después, está definida la gestión de la cadena interna de la empresa donde los procesos involucrados son: aprovisionamiento, producción y distribución. Finalmente, se encuentra la relación de la empresa con el cliente.

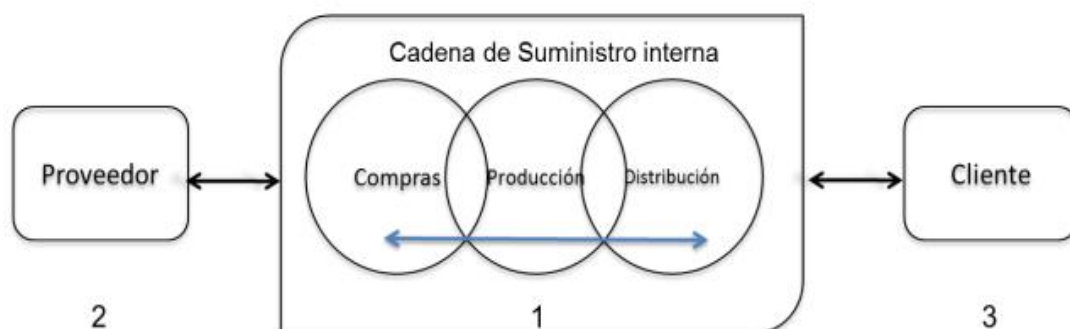


Ilustración 4. Partes de la cadena de suministro. (García, 2016)

Según (Chen & Paulraj, 2004) lo que abarca la cadena de suministro interna es lo más complejo e intenso y, por lo tanto se podrá aplicar una u otra tecnología que favorezca la eficiencia del conjunto. Además, de una integración interna y externa, ya que la integración de tareas y procesos entre las diferentes partes de la cadena facilita la transmisión de información.

### 2.6.2. Objetivo de la cadena de suministro

Las cadenas de suministro deben perseguir un objetivo claro: satisfacer las necesidades del cliente y, en el proceso, generar una ganancia, es decir, se debe maximizar el valor total generado aumentando la rentabilidad de toda la cadena. El valor total es la diferencia que existe entre el valor del producto final (para el cliente) y los costes en que incurre la cadena de suministro. Por tanto, el objetivo clave de la gestión de la cadena de suministro es la optimización de cada proceso a lo largo de toda la cadena de valor.





Para lograr el objetivo planteado, es primordial que las organizaciones inviertan en tecnología y en comunicación. Las empresas deben introducirse en el mundo de las ventas *on-line*, aplicaciones móviles y dispositivos inteligentes. La organización que no marchen en esta dirección para gestionar su cadena de suministro hoy en día no tiene nada que hacer. No solo es necesario la inversión en tecnología, también se debe gestionar el hecho de que hay incertidumbre y cambios produciéndose a una velocidad progresiva y el método más adecuado para hacer frente a esta realidad consiste en mejorar la forma de tomar y adoptar decisiones (Torres & Prado, 2021).

### 2.6.3. Decisiones en la cadena de suministro

La gestión de la cadena de suministro es el desarrollo de una estrategia que tiene en cuenta todos los niveles de la cadena de suministro, lo que significa básicamente la integración de los proveedores y producción, así como las existencias y las ventas, incluida la postventa, para reducir los costes y aplicar una producción más eficiente, produciendo y entregando todos los componentes en el momento y en el lugar adecuado.

Según lo anterior, es necesario que una empresa no solo se centre en la reducción de costes, sino en toda la cadena de valor y, por tanto, desarrolle una estrategia que aborde todo el sistema de la cadena de suministro. La cadena de suministro debe verse en conjunto, lo que incluye tanto los departamentos estratégicos, como los tácticos y operativos, donde los tres niveles tienen que tomar decisiones.

Según (Chopra & Meindl, 2013) la administración exitosa de la cadena de suministro requiere tomar muchas decisiones que están directamente relacionadas con el flujo de información, materiales, productos y recursos. Estas decisiones, publicadas en su libro "*administración de la cadena de suministro*", se clasifican en tres, dependiendo de la frecuencia de cada decisión y el periodo durante el cual tiene impacto: la estratégica, la táctica y la operativa.

Al primer nivel se le denomina "*estrategia o diseño de la cadena de suministro*". En este nivel la empresa decide cómo va a hacer la configuración de la cadena de suministro. Son las llamadas "decisiones estratégicas", ya que se toman decisiones en torno a ubicación, capacidad de producción, los productos que se fabricarán, los medios de transporte disponibles y el tipo de sistema de información que se utilizará. Por lo general, son decisiones a largo plazo y tienen un gran impacto en toda la empresa.

El segundo nivel se le denomina "*planeación de la cadena de suministro*", que son las decisiones tácticas y, se incluyen las decisiones en torno a que mercados serán abastecidos y desde que ubicaciones, la subcontratación de fabricación, diferentes políticas de inventarios, y las magnitudes de promociones, marketing y precio. Generalmente abarcan un periodo de algunos meses, y se renuevan trimestralmente. Por último, está el nivel operativo, "*operación de la cadena de suministro*". Tiene que decidir sobre cuestiones cotidianas como la programación o



los plazos de entregas, la correcta distribución del inventario entre cada uno de los pedidos, entre otros (Chopra & Meindl, 2013).

A partir de este argumento, la cadena de suministro no es ajena al pensamiento estratégico. Cada una de las áreas de la organización debe desempeñar sus actividades en función de una estrategia. Así, cada estrategia se enfoca en lo que cada área puede hacer particularmente bien. Para que estas estrategias tengan éxito deben estar alineadas con las estrategias organizacionales.

## 2.7. Tendencias de la logística y la cadena de suministro

Las tendencias actuales de la logística están manifiestas por la era de la digitalización y la automatización de los procesos; IoT, *blockchain*, *big data*, inteligencia artificial, 5G, ..., que permiten la obtención de más datos que aportan claridad, transparencia y productividad a la cadena de suministro, llevando a una mejor toma de decisiones. Ahora bien, al aplicar dichas tecnologías se debe ser consciente que se deben poseer otras habilidades y capacidades diferentes a las tradicionales, son las llamadas capacidades digitales, además de un cambio cultural en la organización y una inversión elevada si lo que se busca es la automatización.

El segundo aspecto es la expansión del *e-commerce*, cuya finalidad es pedir un producto desde casa y que este llegue lo más rápido posible. Esta modalidad de compra y distribución cada vez crece más; solo en el 2021, a raíz del COVID-19, las ventas de comercio electrónico alcanzaron los \$4.891 mil millones, y los expertos pronostican que en 2024 esta cifra aumentará hasta los \$6.388 mil millones. Según un informe publicado por Nasdaq, el 95% de las compras en el 2040 se realizarán en línea (Carter, 2022). A raíz de este pronóstico se hace necesario que las empresas inicien su transición al *e-commerce*.

Además, se encuentra un replanteamiento de la cadena de suministro, ya que la crisis del COVID 19 ha aumentado significativamente los costes de la logística y transporte, un ejemplo muy claro es el coste que tiene transportar un contenedor por vía marítima. Nick Mowbray, cofundador de Zuru Toys, fábrica de juguetes asentada en Guangdong, afirma que “los precios de los contenedores se han disparado, un contenedor de China al Reino Unido costaba alrededor de 3000 dólares (2600 €) y ahora el precio supera los 20000 dólares (17000 €) (Cal, 2021). Este incremento de precios, junto con la fragilidad actual de las cadenas de suministro y sumando al precio creciente de la huella de carbono, pueden tener como consecuencia un acercamiento de los centros de producción y un acortamiento de las cadenas de suministro.

Por otro lado, para el cliente los beneficios son un resultado de la eficiencia, de la innovación, flexibilidad y confiabilidad, lo que se logra a través de la reducción de gastos innecesarios. Por este motivo, las organizaciones emplean el Mantenimiento Productivo Total (TPM, *Total Productive Maintenance*) y el JIT, Kaizen, ..., entre otras metodologías. Además, es preciso tener procesos adaptables y personalizados junto con un flujo rápido de datos actualizados. Por último, si la organización genera



confiabilidad las relaciones con los proveedores y clientes serán más estrechas permitiendo así la creación de lazos y alianzas estratégicas que generen beneficios para ambas partes (Altez Cárdenas, 2017).

## 2.8. Las TIC y la logística

El crecimiento exponencial de la Tecnología de la Información (IT, *Information Technology*) con la tecnología de la comunicación en la SCM está desempeñando un papel fundamental en la optimización de las decisiones del flujo de la red de la cadena de suministro para aumentar la competitividad de la organización, mejorar el nivel de servicio, reducir el inventario, disminuir los costes de la cadena de suministro, minimizar el efecto látigo y mejorar la efectividad de los canales de distribución. Para lograr la integración y el intercambio eficaz de la información entre las organizaciones, y fuera de ellas, también se necesita de las IT en la cadena de suministro. Las organizaciones están avanzando hacia la cadena de suministro virtual con la ayuda de los rápidos cambios en la tecnología y las aplicaciones de la IT.

La asociación americana de las tecnologías de la información 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 a la computadora, el medio más versátil y utilizado, sino también los teléfonos celulares, la televisión, la radio, los periódicos digitales, etc.”* (Asmae & Rhizlane, 2020).

El uso de las TIC se puede definir también como la aplicación de cualquier facilitador digital para regular los procesos internos y externos de las empresas. Las TIC deben garantizar que la información se mueva sin problemas a través de las divisiones, orientando a las organizaciones a que sigan prácticas empresariales que sean más viables estableciendo y gestionando una base de datos para toda la empresa con el objetivo de que los datos estén disponibles más allá de los límites departamentales.

Esta puesta en común en toda la empresa tiene muchas ventajas, como la automatización de los procesos, la accesibilidad a la información de alta calidad para una mejor toma de decisiones y la agilización del tiempo de respuesta. En otras palabras, el objetivo de las IT es permitir la transmisión de información sin fisuras entre marketing, ventas, compras, finanzas, producción, distribución y transporte, así como entre las diferentes organizaciones (clientes, proveedores, vendedores, transportistas). Las innovaciones apropiadas, como el código de barras y el escaneo se han creado para minimizar los errores (Musiienko, 2020).

En la actualidad, cada vez más empresas, sin importar el sector o el tamaño, están empleando TIC para transformar su forma de hacer negocios, integrar procesos, mejorar la productividad y la relación con las empresas colaboradoras. Según Grunasekaran, la utilización de las TIC se ha intensificado gracias a su rápido desarrollo y aplicabilidad en los procesos logísticos. Además, si se considera la



cantidad y complejidad de los procesos y actividades que implica de la cadena de suministro se hace casi obligatorio su utilización (Asmae & Rhizlane, 2020).

Un ejemplo de este crecimiento es el que plasman en el informe anual del sector de las TIC en España; solo al ver los datos registrados del número de empresas del sector de las TIC queda constancia de este crecimiento año tras año. La Ilustración 5 puede confirmar dicho crecimiento, que es superior al 3,4% interanual. Y a nivel mundial, la tasa compuesta de crecimiento anual de la facturación del sector de las TIC para el periodo 2019-2024 se estima en 2,8% (Economicos, 2020).

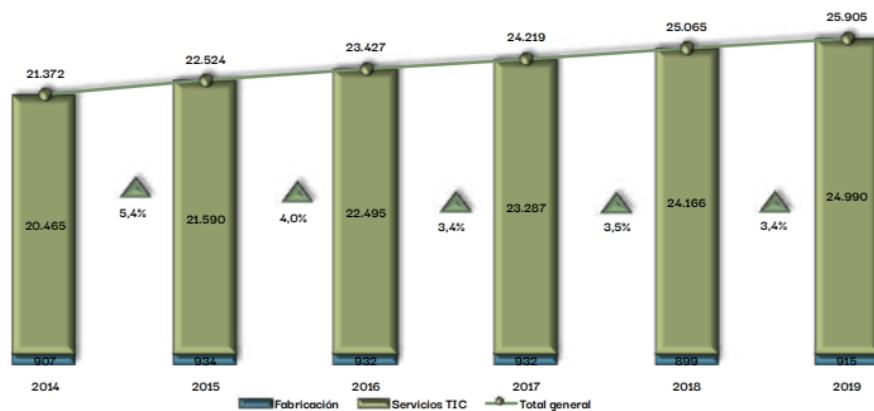


Ilustración 5. Número de empresas del sector TIC en España (2014-2019). (Economicos, 2020).

### 2.8.1. Importancia de las TIC en la cadena de suministro

El intercambio de información entre las redes de la cadena de suministro permite que los miembros de la cadena de suministro trabajen juntos con el objetivo de integrar y coordinar sus procesos. La información también mejora el rendimiento y reduce los riesgos; crea oportunidades para los responsables de la toma de decisiones cuando lo necesitan y en el formato que lo necesitan. Las IT también desempeñan un papel importante en la integración de los proveedores, fabricantes, distribuidores y clientes para satisfacer la cantidad y la calidad de los productos.

Las organizaciones pueden reunir información vital a lo largo de toda la cadena de suministro y reaccionar rápidamente ante cualquier cambio previsible del mercado. De este modo, obtienen una ventaja competitiva mediante la utilización de las TIC en la gestión de la cadena de suministro, proporcionando disponibilidad y visibilidad de la información, permitiendo un único contacto con los datos, lo que hace posible tomar decisiones basadas en toda la información de la cadena de suministro (Tewari et al., 2021).



## 2.8.2. TIC existentes en la logística empresarial

Existen gran variedad de TIC para los procesos logísticos. Entre las más comunes están: el intercambio electrónico (EDI, *Electronic Data Interchange*), RFID, código de barras, comercio electrónico, VMI (*Vendor Managed Inventory*, Inventario administrado por el proveedor), entre otros. En cuanto a la logística interna, que es la que en realidad nos compete, se encuentra: el paquete de planificación de recursos empresariales (ERP, *Enterprise Resource Planning*), EL MRP (*Material Requirements Planning*, Planificación de requerimientos de material), WMS, etc. (Asmae & Rhizlane, 2020). En el artículo titulado “*information technologies in supply chain management*” (Asmae & Rhizlane, 2020) se presenta la clasificación de las TIC utilizadas en la gestión de la cadena de suministro que se muestra en la Ilustración 6.

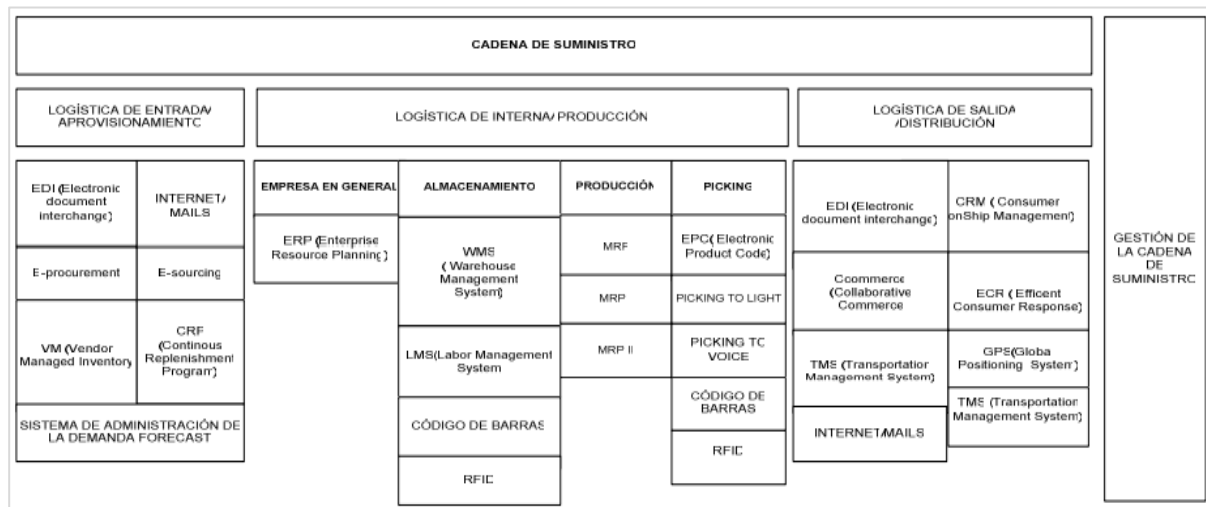


Ilustración 6. Mapa de las TIC aplicadas en la gestión de suministro (Asmae & Rhizlane, 2020)

A continuación, se hablará de las principales TIC involucradas en la logística interna, la cual se enfoca en gestionar y planificar las actividades que están relacionadas con la transformación de la materia prima en producto terminado, incluyendo el almacenamiento, producción y distribución:

**ERP.** Por ejemplo: SAP, Oracle, PeopleSoft. Es un sistema de planificación de la organización, que funciona en función de las actividades de la empresa y cuenta con todas las interfaces lógicas para lograr el flujo de información por la cadena de suministro, a menudo conectada con sistemas externos. Incluye diferentes módulos tales como, administrativo (Finanzas, contabilidad), recursos humanos (nóminas), la planificación de recursos humanos (MRP – incluye aprovisionamientos, planificación de la producción), inventarios, entre otros.

El ERP es un sistema de información empresarial diseñado para integrar y optimizar los procesos y transacciones de las organizaciones. Básicamente, permite la recopilación de datos para toda la empresa en un único programa informático, que proporciona una fuente única para todas las operaciones principales, como los pedidos de los clientes, las existencias, movimientos, trazabilidades, datos financieros, ventas, etc.



Las ventajas de la utilización de un ERP residen, principalmente, en la utilización de una sola base de datos, lo que permite y facilita el intercambio de información y comunicación entre los departamentos de la organización y evita la duplicidad y redundancia, además de facilitar el ajuste y modificación de los datos (Tewari et al., 2021).

**WMS.** Ofrece al usuario una visión en tiempo real de la cadena de la empresa, con el objetivo de mejorar su control, el proceso de toma de decisiones y los niveles de servicio al cliente. Además, otras funciones de estos sistemas son la gestión de los principales procesos que tienen lugar en el almacén de la empresa, como la gestión de inventarios y el control de flujo de mercancías desde su recepción hasta su entrega. El WMS gestiona la ubicación de los productos y los movimientos de los trabajadores y máquinas responsables del mantenimiento y manutención de los artículos. El WMS, tiene dos tipos de mecanismos de optimización, uno dedicado a optimizar el espacio de almacenamiento, mediante una correcta gestión de las ubicaciones, y otro que optimiza los movimientos de los materiales, ya sean realizados por máquinas o personas.

La introducción de un WMS en la gestión de los almacenes supone una nueva forma de trabajar, más rápida y eficaz. Algunos de sus beneficios son: el aumento de la productividad de la empresa, ya que se controla en tiempo real los equipos y el personal, el aumento de la precisión de las mercancías gracias a la identificación automática, la reducción de los niveles de stock e inventario de seguridad, la optimización del espacio del almacén, y la reducción en costes debido a la optimización de operaciones (diseño de rutas óptimas de *picking* y programación de maquinaria) (C. M. Espinosa, 2016).

**MRP.** Se considera como un software para la planificación y control de producción y compras. Las entradas son listas de materiales (BOM, *Bill Of Materials*), maestro de artículos, necesidades, pedidos, mientras que las salidas son los programas maestro de producción (MPS, *Master Production Schedule*). Permite mejorar la eficiencia de la logística interna debido a tiene en cuenta los *lead times*, analiza los requisitos de componentes de cada producto y su nivel de inventarios, y emite informes de qué cantidad comprar o fabricar (Tewari et al., 2021).

**Código de barras.** Permiten capturar información de los números de identificación de artículos, unidades logísticas y localizaciones de manera automática en cualquier punto de la red, sin cometer errores. En otras palabras, se utilizan comúnmente para rastrear e identificar los productos en todas las etapas del proceso. Se obtienen beneficios tales como una mejor planificación del transporte, producción y ventas, control del inventario más fiable y rápido, y una mejora la identificación de los productos. Por tanto, mejora la gestión del almacenamiento y *picking* (Musiienko, 2020).

**RFID.** Es una tecnología que se basa en el uso de etiquetas que emiten y reciben la identidad en forma de número de serie único de un objeto mediante señales de radio inalámbricas y en lectores que recogen los datos transmitidos por las etiquetas a un sistema de información de la empresa para su posterior evaluación y



análisis. Tanto los RFID como el código de barras se basan en la tecnología de identificación automática, pero la diferencia radica en que el código de barras escanea una etiqueta impresa con imágenes mientras que el RFID escanea una etiqueta mediante señales de radiofrecuencia.

Al adoptar la tecnología RFID la cadena de suministro puede mejorar la productividad, reducir los costes operativos, mejorar el seguimiento, la identificación de falsificaciones y la predicción de robos. Además, los proveedores pueden gestionar la retirada de productos y la devolución de materiales defectuosos, y evita la duplicidad de artículos, ya que las etiquetas son únicas y autenticadas (Tewari et al., 2021).

Las TIC más utilizadas en la logística de aprovisionamiento (entrada), que es considerada logística externa debido a que gestiona las actividades relacionadas con los proveedores, son: los sistemas de administración de la demanda (Forecast), EDI, VMI y CRP (*Continuous Replacement Program*, programa de reposición continua). Y las TIC más utilizadas en la logística de distribución (salida), que se encarga de planificar y controlar los procesos de distribución y relación con los clientes, son: TMS (*Transport Management System*, gestión del sistema de transporte), CRM (*Customer Relationship Management*, gestión de las relaciones con los clientes), C- Commerce, ..., entre otros (Asmae & Rhizlane, 2020).

El uso de las IT se considera un requisito previo para el control eficaz de las complejas cadenas de suministro. Además, la globalización, la externalización, la personalización, el tiempo de entrega de los productos y la presión para reducir los costes han obligado a las empresas a adoptar una gestión eficiente de la cadena de suministro para sobrevivir, por lo que la adopción de herramientas TIC es vital para asegurar la supervivencia de las empresas.



## 3. Logística 4.0

### 3.1. Introducción

La cuarta revolución industrial está provocando una serie de cambios disruptivos tanto en los modelos de negocio como en las cadenas que lo sustentan. La logística, que es un elemento fundamental de este proceso, se ve inevitablemente afectada por estos cambios significativos. Esta cuarta revolución se caracteriza por su velocidad, magnitud y profundidad. Los cambios son tan drásticos que van a alterar la forma en la que vivimos, trabajamos y nos relacionamos.

Por lo tanto, el sistema logístico del futuro debe apuntar a la información interconectada y a la optimización de tiempo y recursos, con una importante inversión en innovación y desarrollo para mantener la competitividad (Pérez, 2019). Estos rápidos cambios tecnológicos imponen retos sin precedentes y crean oportunidades para las empresas que adoptan tecnologías como el internet de las cosas, sistemas ciber físicos, inteligencia artificial, robótica, ciberseguridad, análisis de datos y los sistemas de computación en la nube.

La industria 4.0 se ha creado en los últimos años como consecuencia de la cuarta revolución industrial y los logros tecnológicos del siglo XXI, provocando un impacto en la logística. Un ejemplo de ellos es la modificación de sus procesos (automatización) para atender la nueva forma de organizar las industrias en la llamada "logística 4.0". El objetivo de este capítulo es reunir algunos de los principales conceptos de la industria 4.0 y de la logística 4.0, su historia y evolución, las tecnologías aplicadas, ..., además de sus perspectivas y retos. Se inicia con una breve descripción de las revoluciones predecesoras, para luego profundizar en las soluciones internas de la logística 4.0.





## 3.2. Industria 4.0

### 3.2.1. Historia y evolución

La industria mundial ha sufrido varios cambios a lo largo de los siglos. Las revoluciones industriales siempre se han caracterizado por el uso de tecnología emergente e innovadora que modifican notablemente, y a gran velocidad, la forma en que producen las empresas manufactureras. Estos cambios provocan, a su vez, fenómenos sociales y económicos que transforman a la humanidad.

La primera revolución industrial se inició en Inglaterra entre los años 1750 – 1840, caracterizada por la fuerza mecánica del vapor que hizo historia. El invento de Thomas Newcomen y perfeccionado por James Watt (la máquina de vapor) posibilitó el crecimiento de la capacidad productiva. Ese invento permitió una transición de la tecnología agrícola y artesanal a la mecanización de los procesos, logrando pasar de operaciones manuales a operaciones realizadas por máquinas. Otro hecho importante de esta primera revolución fue el pasar de usar la energía generada por la rueda hidráulica a la generada por la energía térmica (el carbón) (Rozo-García, 2020).

La segunda revolución industrial se caracteriza por la electricidad, el desarrollo químico, el primer motor Diesel, el automóvil, el telégrafo, la bombilla eléctrica, ..., entre otros. A principios de 1900, debido a la producción en masa de la revolución anterior, se desarrollaron modelos de producción, destacando el modelo realizado por el sector automotriz, “modelo T”, que marcó la segunda revolución industrial (Angeli Poli et al., 2018).

El “modelo T”, producido por Henry Ford en su compañía, es considerado el primer automóvil asequible. Esto fue posible gracias a las innovaciones introducidas para optimizar la producción en serie, que hicieron económicamente viable la fabricación de vehículos mediante la creación de líneas o cadenas de montaje simultáneas. Henry Ford se propuso construir un vehículo para las grandes mayorías, que fuera bastante amplio como para una familia, pero también lo suficientemente pequeño como para que el mismo propietario lo pudiera mantener y reparar. El objetivo era que el vehículo se construyera con los mejores materiales y, además, con el diseño más simple que la ingeniería podía plantear. No obstante, se pretendía que fuera un coche de precio asequible, para que cualquier persona asalariada lo fuera capaz de comprar (Museos, 2020).

La tercera revolución industrial se le conoce como la de las tecnologías de la información y el conocimiento. Tiene lugar aproximadamente entre 1960 y 1990, cuando se introducen nuevas tecnologías al proceso de producción, abriendo el camino al nuevo mundo. Se desarrollaron soluciones automatizadas sin precedentes y de una forma muy acelerada, soluciones tales como: la electrónica, las telecomunicaciones, la bioingeniería, los ordenadores, dispositivos móviles, y el desarrollo de la robótica y de software, por mencionar algunas.

El impacto de esta revolución ha aumentado la capacidad operativa y ha aportado más eficiencia a los procesos de producción, llevando a la modernización



de las formas de producción, además, las empresas han empezado a invertir más en tecnología que en mano de obra (Rozo-García, 2020).

Las evoluciones no han cesado y actualmente estamos inmersos en la cuarta revolución industrial o Industria 4.0. Esta se caracteriza por el uso intensivo de las tecnologías de la información y el concepto de “Fabrica inteligente”, que se corresponde a la integración en tiempo real desde la fabricación hasta el departamento de recursos humanos (Angeli Poli et al., 2018).

### 3.2.2. Industria 4.0, la cuarta revolución industrial

A diferencia de las anteriores revoluciones industriales, la cuarta surge primero en la sociedad como un cambio cultural: la industria intenta alcanzar el mismo nivel de tecnología con el que viven las personas en sus hogares. En contraposición, en las tres revoluciones industriales anteriores se siguió el mismo esquema de sucesos: en los últimos 250 años ha existido una firme motivación por producir más y mejor, lo que impulsó descubrimientos y avances tecnológicos que han marcado cambios de ritmo en la innovación y cuya aplicación cada vez es mayor, incrementando la productividad, reduciendo los tiempos de fabricación y mejorando en la eficiencia.

La digitalización de los procesos empresariales comenzó en la década de 1960 con los primeros esfuerzos por fomentar el intercambio electrónico (EDI). Estos procesos se hicieron más complejos con el tiempo, con nuevas aplicaciones y la integración de tecnologías que mejoraron el flujo, la velocidad, fiabilidad y seguridad de la información intercambiada. Ahora, en plena cuarta revolución industrial, el modelo de negocio del comercio exterior está cambiando una vez más, poniendo énfasis en la calidad de los servicios, con una continua gestión de la información, lo que permite gestionar la cadena de suministro en tiempo real (Pérez, 2019).

Una serie de tecnologías como el *blockchain*, el IoT, *big data*, ..., están impulsando la cuarta revolución industrial, al entrelazar y producir cambios significativos en el sector empresarial con vistas a aumentar la eficiencia operativa, proporcionando la flexibilidad necesaria para adaptar rápidamente la producción a los cambios de la demanda y reducir los costes asociados. El objetivo de la industria 4.0, es crear empresas y cadenas de suministro inteligentes, utilizando tecnologías de vanguardia, como los sistemas ciber físicos (CPS, *Cyber-Physical Systems*), la analítica, el *big data*, IoT, impresión 3D e inteligencia artificial (Khan et al., 2022).

El concepto de Industria 4.0 surge en Alemania, atribuido a Henning Kagermann presidente de la academia alemana de ciencias e ingeniería (Acatech) y es presentado por primera vez en la feria de Hannover de 2011. La industria 4.0 es considerada como una iniciativa estratégica que recoge todo un conjunto de recomendaciones para responder a los retos que se plantean en la actualidad”. Quizá, el inconveniente es que la Industria 4.0 no es un producto físico, sino es “*una idea que describe algo que está ocurriendo hoy y quizá vaya a seguir ocurriendo en la siguiente década*” (Syarifudin, 2020). Es decir, es como una guía que nos señala el camino que vamos a tener que seguir en los próximos años.



Ante tal complejidad, es necesario dar una imagen sencilla acerca de este concepto. La idea básica en que se fundamenta la Revolución 4.0 es la aplicación intensiva de las nuevas tecnologías, con Internet a la cabeza de todos los procesos de una fábrica, de modo que el funcionamiento de esta sea inteligente y absolutamente eficiente. Con estas premisas podríamos abordar una definición más técnica, según (Sáenz, 2017), en su artículo “Pilares tecnológicos”, la Industria 4.0 sería “*la implantación de una red tecnológica de producción inteligente, para que máquinas, dispositivos y sistemas colaboren entre sí. De esta manera se consigue fusionar el mundo real y virtual en las fábricas, permitiendo aumentar la optimización y el control de los procesos y de las cadenas de suministro*”.

La industria 4.0 se caracteriza por la automatización, la electrónica, la digitalización de los procesos y el uso de las tecnologías en la manufactura, además de la personalización de los productos y creación de negocios con valor agregado. La industria 4.0 representa un enfoque de innovación de nuevos productos y procesos, a través de fábricas inteligentes, totalmente integradas en redes de trabajo que propician nuevas formas de colaboración e infraestructuras sociales. Fábricas capaces de crear copias virtuales del mundo físico, monitorear los procesos físicos, autogestionarse, optimizarse y tomar decisiones de forma autónoma en tiempo real (Ynzunza-Cortés et al., 2017).

El artículo publicado por (Ynzunza-Cortés et al., 2017) y titulado “*El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas Futuras*”, muestra hacia dónde se ha enfocado la investigación en los últimos años. Este estudio demostró que el 42,5% buscan conceptos relacionados con la logística 4.0; el 33,3% se refieren a las tecnologías que sustentan la misma; el 16,1% resaltan la importancia de los sistemas ciber físicos (fusión del medio físico con el virtual); y, el 8,1% se relaciona con tecnologías que facilitan la integración de la cadena de suministro.

En la Ilustración 7 se presenta una clasificación de la literatura que revisaron. Esta grafica muestra el interés que se está avivando actualmente en la investigación en cuanto a la logística 4.0, además de ser una necesidad para las empresas ya que requieren estar innovando constantemente para ser competitivas.

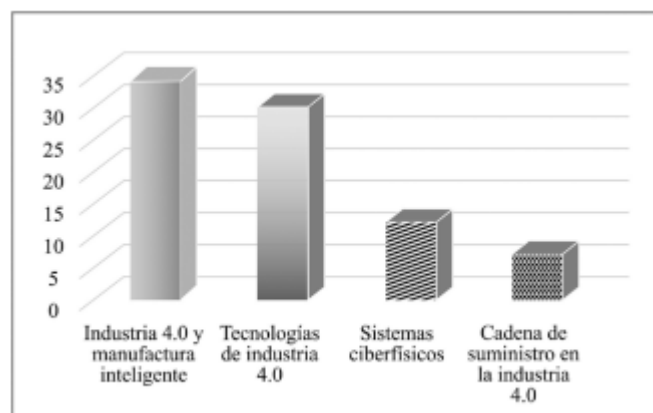


Ilustración 7. Clasificación de la literatura de investigación (Ynzunza-Cortés et al., 2017)



### 3.3. Perspectiva de la industria 4.0

Se espera que las máquinas sean capaces de comunicarse entre sí, transmitiendo o recibiendo información. Además, la nube proveerá las soluciones para el procesamiento y el almacenamiento de grandes cantidades de datos. Los productos serán inteligentes, ya que, con el IoT, muchos sensores de red podrán estar en dispositivos y máquinas donde se desplegarán grandes cantidades de datos, de diferentes tipos, logrando solucionar de forma remota tareas complejas.

También se espera que la industria 4.0 proporcione la infraestructura para mejorar la capacidad lean/sigma de una organización a nivel operativo. En este nivel, las métricas de datos operativos pueden transmitirse en tiempo real a través de la red, permitiendo mejoras como los Kanban electrónicos (una orden de producción puede transmitirse automáticamente al proceso posterior cuando se detecta que se ha alcanzado el nivel de inventario deseado), vigilancia de la producción (los tiempos de inactividad, los índices de producción y el tiempo de producción, como los fallos de las máquinas y, comunicar la información al personal clave a través de relojes inteligentes o tabletas), o el mantenimiento productivo (utilizando sensores para detectar cuando hay que sustituir) (Galati & Bigliardi, 2019)

La forma que interactúan los clientes, los proveedores y los mayoristas se verá afectada por el IoT y la industria 4.0; estos tendrán mayor participación en el proceso y las decisiones acerca de la manufactura, calidad y personalización de productos. En cuanto a los desafíos de ciberseguridad, surgirán nuevas exigencias en el mercado de la comunicación inalámbrica, el computo móvil y en la nube, creación de más sistemas seguros, con mayores capacidades, más conscientes del entorno y asistidos por la nube. Y, finalmente, se encuentra la fabricación en la nube, que seguirá siendo el nuevo paradigma de la manufactura (Ynzunza-Cortés et al., 2017).

### 3.4. Logística 4.0

Es posible identificar generaciones de desarrollo logístico (Angeli Poli et al., 2018). En primer lugar, se encuentra la logística 1.0, caracterizada por las operaciones de transporte de productos. La logística 2.0 se distingue de la anterior por diversas formas de colaboración, nuevos socios y medios de transporte. La logística 3.0, por su parte, sigue las mismas actividades clásicas de transporte, con más atención al suministro de productos y servicios al cliente, incorporando las tecnologías de la información y comunicación. Finalmente, la logística 4.0 se corresponde a una plataforma en la que la logística se asocia con la industria 4.0 para agregar valor a lo largo de los procesos de la cadena de suministro. La logística 4.0 facilitará aún más el flujo del producto, los procesos ayudarán a optimizar los resultados y a crear ventajas competitivas. La Ilustración 8 muestra la evolución de la logística en el periodo comprendido entre la primera revolución industrial y la actualidad.

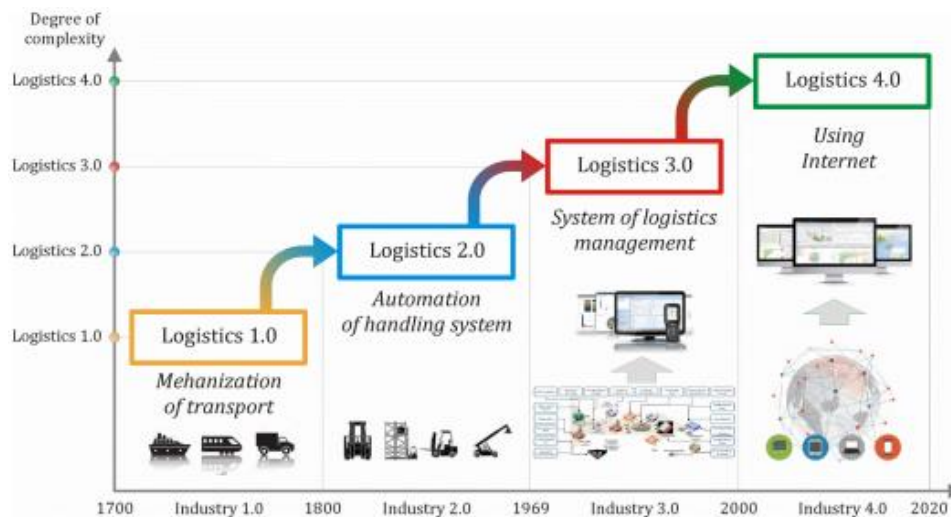


Ilustración 8. Evolución de la logística (R & M, 2019)

El término logística 4.0 apareció por primera vez en 2011 como respuesta y apoyo a la industria 4.0. Hoy en día, los términos cadena de suministro 4.0, aprovisionamiento 4.0, Marketing 4.0, distribución 4.0, almacenamiento 4.0, gestión de inventarios 4.0, ..., representan la respuesta del ámbito logístico al desarrollo y los requisitos de la industria 4.0. La logística 4.0 debe dar soporte a los procesos de la industria 4.0, desde el procesamiento de los requisitos del mercado y la planificación de la producción hasta la entrega de productos inteligentes a los usuarios finales. La solución está en la digitalización de las actividades y de los procesos logísticos. Las características de la digitalización de los sistemas logísticos son: la cooperación, la conectividad, la adaptabilidad y la integración.

La logística 4.0 se basa en sistemas de software, internet y en las tecnologías de la información y la comunicación. En conjunto, deben proporcionar la gestión logística, incluyendo la planificación, ejecución y control de todos los procesos logísticos (R & M, 2019). Jeschke conceptualizó la logística 4.0 desde enfoques a corto y largo plazo. Desde la perspectiva a corto plazo se define como los “procesos firmes y mutuamente relacionados entre miembros interdependientes con el uso de grandes cantidades de datos”. A largo plazo, como “sistemas autoorganizados en otros sistemas”. Esta definición se centró en los subsistemas de la logística que están equipados con tecnologías inteligentes como sensores, *big data*, IoT o los sistemas ciber-físicos. Estas tecnologías desarrollan ecosistemas altamente orientadas a los datos y que cumplen con la demanda personalizada del cliente de forma más eficaz (Khan et al., 2022).

(R & M, 2019) propuso una definición de la logística 4.0, “un término colectivo para las tecnologías y conceptos de organización de la cadena de valor”. Dentro de la logística, los sistemas ciber-físicos supervisan los procesos físicos, crean una copia virtual del mundo físico y toman decisiones descentralizadas. Por tanto, la logística 4.0 se refiere a la integración de la logística con las tecnologías inteligentes para satisfacer la demanda de productos y servicios altamente personalizados.



Estas tecnologías avanzadas requieren una mayor motivación e inversión financiera para su implementación, debido al elevado coste tecnológico, al alto coste de la infraestructura y a la compleja cadena de suministro. Pasar de la logística convencional a la logística 4.0 depende de varios factores que son significativos para las organizaciones (Khan et al., 2022).

En resumen, la logística 4.0 se define como logística inteligente, porque sus procesos permiten una gestión inteligente. Los componentes de la logística 4.0 son (Pérez, 2019) identificación automática de todos los productos, objetos y participantes de los procesos logísticos, la posibilidad de localizarlos y la recopilación de datos en tiempo real, permitiendo la gestión de la calidad, la planificación y optimización.

Existen numerosas tecnologías que implementan los componentes mencionados y las más representativas se describen en los siguientes capítulos. Algunas de estas tecnologías albergan un considerable potencial para perturbar la industria logística debido, principalmente, a que representan la integración de la información y facilitan la interoperabilidad con otros sistemas de producción y distribución, e incluso con los sistemas inteligentes de transporte, favoreciendo así la comunicación entre los actores de la producción, los dispositivos y la infraestructura logística (Pérez, 2019).

#### **3.4.1. La logística en el entorno 4.0**

La integración de tecnologías de la industria 4.0 en la logística promete permitir la supervisión en tiempo real de los flujos de materiales y una mejor manipulación de las unidades. Una mayor eficiencia de los procesos logísticos puede lograrse aplicando los principios de la industria 4.0 en áreas clave, como el almacenamiento, el transporte, el embalaje, la distribución, la carga/descarga y el suministro de información. Es importante que las empresas de fabricación tengan una perfecta visión general de donde se encuentra el material en la empresa. Esto no puede lograrse sin sistemas de información perfectos.

Para las principales aplicaciones de las nuevas tecnologías en el campo relativamente amplio de la logística, las tecnologías de la industria 4.0 deberían utilizarse sobre la base de los siguientes cuatro principios (Zoubek & Simon, 2021b):

- Apoyo y toma de decisiones. Se refiere al potencial de la inteligencia artificial y el análisis de Big data para automatizar los procesos de toma de decisiones o apoyar las decisiones humanas mediante un enfoque basado en datos.
- Identificación e interconectividad. Se refiere a las tecnologías de IoT y a los sensores inteligentes que son capaces de identificar inequívocamente productos y materiales y mejorar el seguimiento de los productos dentro y fuera de las empresas, incluida la intercomunicación.
- Flujo de información. Se refiere a la integración de sistemas informáticos que también utilizan la computación en la nube para proporcionar acceso a los datos en múltiples fuentes en tiempo real para responder mejor a la planificación de la producción en tiempo real.



- Automatización, robótica y nuevas tecnologías de producción. Introducir nuevos equipos y sistemas de transporte inteligentes capaces de sustituir o duplicar el trabajo humano en las actividades manuales.

### 3.4.2. Retos de la logística 4.0

En este apartado se identifican varios grandes retos que hay que abordar para que la logística 4.0 crezca y se imponga en las industrias. Como se ha mencionado anteriormente, se debe invertir más en tecnología, evaluando el capital de trabajo requerido para la realización de los cambios en los procesos de producción actuales a una tecnología más avanzada. Pero ¿qué sucederá con el factor humano?

Muchas empresas que dudan en dar el siguiente paso a la nueva evolución, buscan encontrar la relación-beneficio entre la inversión del capital que requieren las transformaciones y el modo en que afectarán a la industria. Por eso, muchas organizaciones buscan un equilibrio en el trabajo hombre-máquina facilitando el trabajo que realizan las personas mediante una máquina. El optar por una relación mixta trae beneficios tales como la disminución en el esfuerzo de carga pesada y el aumento en la velocidad de los procesos.

Por otra parte, la adopción de tecnología en la empresa no eliminará las personas de los procesos productivos; lo que hará es desplazar los trabajos pesados y repetitivos a trabajos que requieren desarrollo de capacidades digitales, conocimientos en producción y mantenimiento, resolución de problemas complejos, un buen manejo de la relación social, aptitudes de liderazgo y un alto índice de habilidades creativas puesto que las máquinas no están en capacidad de funcionar en un 100% sin intervención humana (Syarifudin, 2020).

Todo lo anterior conduce al primer reto, y probablemente el más crítico, la formación y el desarrollo de los recursos humanos, es decir, formar nuevos profesionales, con nuevas habilidades y capacidades, que serán claves a la hora de conseguir un puesto de trabajo. Estos profesionales deben ser de perfil especializado, deben tener un cambio de mentalidad, educación y cultura. Para hacer frente a esta complejidad deben ser muy flexibles y demostrar capacidades de adaptación en un entorno de trabajo muy dinámico.

Esto exige un cambio de modelo en los centros educativos, porque para nadie es un secreto la desigual evolución entre los desarrollos tecnológicos y los programas educativos en todos los niveles de la enseñanza, concretamente en la educación terciaria y en los programas de formación profesional. Las universidades e instituciones educativas deben innovar y cambiar su oferta académica con el propósito de satisfacer la demanda de futuros profesionales.

Según (Efthymiou & Ponis, 2021) *“las instituciones académicas tienen un importante papel que desempeñar en la preparación de la reserva de talentos, y ésta no se limita a los recién licenciados, sino que puede ampliarse a la formación de la mano de obra actual. Las diferentes opciones de formación continua les ayudarán a recalificarse y a ser contratados”*. Claramente, esta transformación no será inmediata y deberán pasar años para que se dé.



Según (Efthymiou & Ponis, 2021) uno de los requisitos más importantes para la educación en la logística 4.0 es cambiar los métodos de enseñanza y aprendizaje en las universidades para que sean más prácticos. El objetivo es crear graduados de aprendizaje rápido que puedan utilizar de forma eficaz y eficiente las nuevas tecnologías en el trabajo diario. El pensamiento crítico y la capacidad de analizar, evaluar e interpretar información son características importantes para la mano de obra de la logística del futuro.

Según (Galati & Bigliardi, 2019) los nuevos profesionales requieren una serie de competencias personales, sociales e interpersonales para cubrir los actuales y futuros puestos laborales en la logística 4.0. El alejamiento de las tareas monótonas y extenuantes dará lugar a la demanda de una mano de obra más creativa, innovadora y comunicativa.

Además, los empleados serán responsables de procesos más amplios y, por tanto, tendrán que ser capaces de comprender las relaciones entre los distintos procesos, los flujos de información y los detalles técnicos para hacer frente a posibles interrupciones y encontrar posibles soluciones, por lo que se necesitan competencias relacionadas con el sector. La futura mano de obra deberá tener gran habilidad analítica, conocimientos básicos de análisis de datos y métodos estadísticos, y la capacidad para evaluar si los sistemas y subsistemas funcionan como se espera, y al mismo tiempo capaces de interactuar con dichos sistemas a través de interfaces adecuadas.

El segundo reto tiene que ver con la adopción y el crecimiento de la tecnología, que actualmente está retrasada por el insuficiente marco normativo. La industria 4.0 impone un reto muy extenuante a los sistemas logísticos cuando se trata de la seguridad. Los simples programas maliciosos o los ataques más graves pueden provocar, además de pérdida de datos, pérdidas financieras e insatisfacción de los clientes, lesiones o incluso pérdidas de vidas si el ataque se dirige a grandes automatizaciones (Kamble et al., 2018).

Las normas existentes, como la ISO/IEC 27000 para la seguridad de la información y las normas de ciberseguridad IEC-62443 proporcionan una buena base para los esfuerzos de estandarización para la seguridad en la era de la industria 4.0. Sin embargo, todavía hay mucho trabajo por hacer frente a los problemas de seguridad que actualmente afectan a las tasas de adopción e implementación de la tecnología a nivel mundial. Para minimizar el riesgo de dichos ataques se deben desarrollar sistemas de protección, dedicar tiempo y recursos para que no exista ningún tipo de ataque que afecte la seguridad (Efthymiou & Ponis, 2021).

Además de los retos mencionados anteriormente, existen ciertas implicaciones a la hora de implementar la logística 4.0 en las empresas: instalaciones de producción digitalizadas e interconectadas; manufactura flexible, autónoma y sustentable; máquinas que aprendan y se autogestionan; productos inteligentes; manejo y análisis de grandes volúmenes de datos en tiempo real; enfoque a la innovación y actividades de valor agregado, eso sería en un cuanto al entorno de la industria.





Por otro lado, se encuentra el enfoque de los negocios como los cambios en el tipo de productos de físico a digitales conectados; redes de trabajo que crean valor; cadenas de suministro inteligentes y globales; modelos de negocio basados en servicios en la nube, logística y distribución.

Finalmente, se encuentra el enfoque del empleo ya que, como se había mencionado, la logística 4.0 tendrá nuevos esquemas: otras formas de interacción hombre-máquina; perfiles altamente especializados; procesos de trabajo más complejos y trabajos mucho más flexibles (Ynzunza-Cortés et al., 2017).

En resumen, el cambio en las industrias será una constante, por lo que los mayores retos estarán ligados a la gestión del conocimiento, la formación continua y la innovación como fuente diferenciadora de la competencia.

### 3.5. Factores de éxito en la logística 4.0

Los profesionales y los directivos están cada vez más interesados en la industria 4.0 ya que su ejecución efectiva redundara en beneficios competitivos para la empresa. Debido a que la implantación de la logística 4.0 requiere una mayor motivación de inversión financiera, por el elevado coste tecnológico, el alto coste de la infraestructura, la compleja cadena de suministro, la participación global y los problemas de seguridad y privacidad esta transformación es un reto. La logística 4.0 se caracteriza por los retos de implementación que requieren la consideración de las industrias y del mundo académico. Por lo que estas cuestiones requieren la investigación de los factores críticos que puedan ser cruciales para la adopción de la logística 4.0 (Wang et al., 2016).

La transformación de la logística convencional en la logística 4.0 depende de varios factores que son significativos para las organizaciones. Por lo tanto, es necesario identificar los factores críticos para una adopción fluida y eficaz. La literatura sugiere que las iniciativas de logística 4.0 benefician a la economía al reducir los costes logísticos (como los de mano de obra), aumentando la productividad y la eficiencia, mejorando la satisfacción del cliente gracias a la reducción de los plazos de entrega y a la mejora tanto de la precisión de la información como de la capacidad de respuesta (Wang et al., 2016).

(Wagner et al., 2017) recomienda que el primer acercamiento con la industria 4.0 se realice empleando un sistema de producción ajustada, especialmente cuando utiliza un enfoque justo a tiempo (JIT) y Jidoka. Las tecnologías más sugeridas para la integración de lean 4.0 con la industria 4.0 son el IOT y la simulación. En el artículo "*Exploration of Critical Success Factors of Logistics 4.0: A DEMATEL Approach*", elaborado por (Khan et al., 2022), se realiza una revisión bibliográfica exhaustiva para identificar los factores críticos de éxito de la logística 4.0 con la aportación de expertos. Estos factores críticos de éxito están interrelacionados, y se explora mediante el enfoque DEMATEL. La metodología aplicada clasifica los factores críticos para la adopción exitosa de la logística 4.0 en las empresas. La investigación arrojó 10 factores críticos, que se muestran en la Tabla 1.



Tabla 1. Factores críticos para la adopción exitosa de la logística 4.0 (Khan et al., 2022).

<b>N</b>	<b>Factor crítico</b>	<b>Descripción</b>
1	Infraestructura tecnológica	La logística 4.0 requiere infraestructuras tecnológicas avanzadas como IoT, <i>big data</i> y sistemas ciber físicos para satisfacer la demanda de la Industria 4.0.
2	Confianza y colaboración	Factores como la eficacia operativa, la colaboración y la confianza entre los socios logísticos para la logística 4.0.
3	Transferencia de conocimiento	Establecer el programa y los módulos de formación para crear un entorno de aprendizaje y formación en la organización. Permiten una fácil transferencia de conocimientos, motivando así a la organización a adoptar la logística 4.0
4	Desarrollo de capacidades analíticas	El éxito de la logística 4.0 depende de los datos analíticos, y esto implica una capacidad analítica.
5	Trabajo inteligente – Entorno de trabajo	Los empleados necesitan trabajar en un entorno inteligente debido al despliegue de la logística 4.0, que incluye nuevas descripciones de puestos, funciones y responsabilidades
6	Alinear las iniciativas de la logística 4.0 con las estrategias de la organización	La adopción de la logística 4.0 se consigue a través de las diversas iniciativas de logística 4.0. Estas iniciativas deben estar vinculadas a las estrategias organizativas para una mejor coordinación
7	La alta dirección, compromiso y apoyo	La adopción de cualquier práctica en una organización requiere el compromiso y el apoyo de la alta dirección y la logística 4.0 no es una excepción.
8	Entorno de investigación	La logística 4.0 es un concepto relativamente nuevo que se basa en la última tecnología, y requiere una amplia investigación
9	Voluntad de invertir en logística 4.0	La aversión al riesgo, o el miedo a invertir en soluciones innovadoras como la logística 4.0, es un factor importante para su adopción
10	Formación y educación	Se necesitan habilidades analíticas y técnicas para ejecutar la logística 4.0 que requiere formación en forma de seminarios y talleres.



El más influyente es el "compromiso y apoyo de la alta dirección", ya que la logística 4.0 exige varias tecnologías inteligentes, integración y coordinación. Las organizaciones necesitan proporcionar apoyo en términos de aspectos financieros y tecnológicos para adoptar la Industria 4.0. El segundo factor que más influye es la "alineación de las iniciativas de la logística 4.0 con la estrategia de la organización" que motiva a la dirección a desarrollar las estrategias y la planificación a favor de la adopción de la logística 4.0. Esto también ayuda a tomar varias iniciativas de logística 4.0 como la adopción de *big data analytics*, IoT, CPS y trazabilidad.

El siguiente factor crítico que influye es la "infraestructura tecnológica", como la monitorización del estado en tiempo real, las tecnologías de intercambio de datos de alta velocidad, la interfaz virtual y otras tecnologías inteligentes que son esenciales para adoptar la logística 4.0. Esta infraestructura tecnológica influye en otros factores, como el desarrollo de la cultura de trabajo inteligente y capacidades analíticas. (Khan et al., 2022).

La logística 4.0 exige una gran inversión y esta inversión ha de proceder de las partes interesadas en ella. Por tanto, la disposición a pagar es vital para que la adopción de la logística 4.0 permita obtener un resultado productivo. Como la logística 4.0 es un concepto emergente y que requiere de un nuevo conjunto de habilidades y responsabilidades, la "formación y educación" se ha convertido en un factor importante. La formación podría impartirse a través de seminarios y talleres para el personal de logística. Esto podría ayudar a desarrollar una cultura y a mejorar la transferencia de conocimientos.

El último factor de influencia entre los identificados es el "entorno de investigación" para desarrollar el proceso y las tecnologías que apoyan la adopción de la logística 4.0. Para crear un entorno de investigación dentro de la organización, la alta dirección debe promover la investigación mediante diversos incentivos monetarios y no monetarios. La investigación y el desarrollo contribuyen a la transferencia de conocimientos, a la cultura de trabajo inteligente y al desarrollo de capacidades analíticas. En consecuencia, los gestores, los responsables y los profesionales deberían centrarse en estos factores de forma urgente para adaptar la logística 4.0 (Khan et al., 2022).

### **3.6. Qué se espera en el futuro**

La evolución de la industria 4.0 y las futuras aplicaciones de la industria 4.0 requieren una combinación de nuevas tecnologías que han surgido recientemente, lo que está dando lugar a la aparición de la futura generación de la industria 4.0 o industria 5.0. Dichas tecnologías proceden de diferentes disciplinas, como la inteligencia artificial (IA), la 5G/6G o la computación cuántica, entre otras. En el reciente desarrollo tecnológico se puede prever la nueva generación de la industria 4.0 que aumentará drásticamente el nivel de industrialización, informatización y digitalización de la fabricación para lograr una mayor eficiencia y competitividad.



---

La investigación de (Da Xu, 2022) ha predicho que la industria 4.0 seguirá adoptando tecnología de vanguardia. La IA, la 6G y la computación cuántica representan un cambio de paradigma de las tecnologías existentes, ya que se dispone de nuevas aplicaciones revolucionarias. La IA, el 5G/6G y la computación cuántica son tecnologías emergentes que impulsarán las innovaciones y contribuirán significativamente al futuro desarrollo de la Industria 4.0 que permite llevar a las industrias a un nivel superior. La nueva tecnología es capaz de integrar tanto la nueva como la clásica Industria 4.0. La IA, el 6G y la computación cuántica tendrán un impacto transformador en las industrias y tecnologías del futuro (Da Xu, 2022).



## 4. Estudio de las soluciones aplicadas en la logística interna 4.0. Parte I

### 4.1. Introducción

Las tecnologías asociadas a la industria 4.0 y a la manufactura inteligente, se refieren a la simulación, fabricación aditiva, la realidad aumentada, el computo en la nube, los robots autónomos, el *big data*, las aplicaciones tecnológicas, la inteligencia artificial y las tecnologías de la información. En consecuencia, las industrias están transitando hacia la industria 4.0 para, por ejemplo, optimizar la logística y la eficiencia de la cadena de suministro y asegurar la trazabilidad del producto (Ynzunza-Cortés et al., 2017).

Según el estudio titulado “*Industry 4.0 Technologies and Their Impact in Contemporary Logistics: A Systematic Literature Review*”, por (Efthymiou & Ponis, 2021), las principales tecnologías que constituyen la columna vertebral de la industria 4.0 identificadas en la literatura contemporánea son las que se muestran en la Ilustración 9. Según este estudio las tecnologías mostradas son las más básicas, las más estudiadas y las más impactantes que forman parte del paradigma de la industria 4.0 dentro de la logística (Efthymiou & Ponis, 2021).

De la Ilustración 10 se deduce que en la logística interna y en la industria 4.0 convergen el mayor número de tecnologías. Asimismo, el alcance de las tecnologías en la logística es diverso, ya que algunas TIC se aplican a sistemas logísticos específicos, como es el caso de la manufactura aditiva y la realidad aumentada.

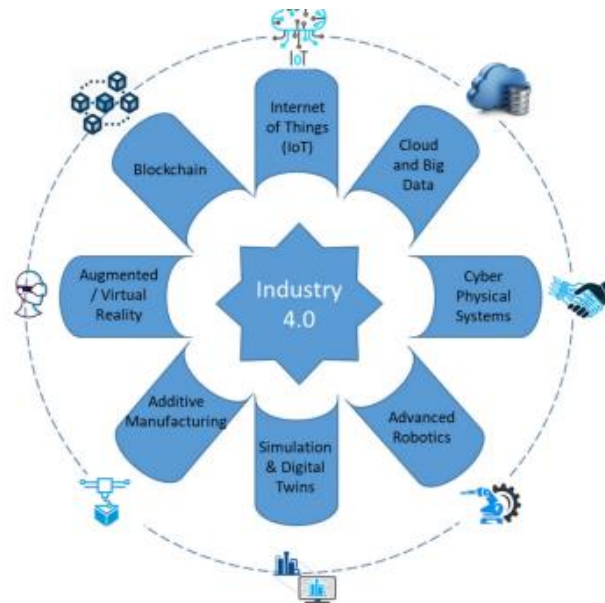


Ilustración 9. Tecnologías en la Industria 4.0 (Efthymiou & Ponis, 2021)

Technology	Logistics Planning	Inbound Logistics	Internal Logistics	Warehouse Logistics	Outbound Logistics	Reverse Logistics
Additive Manufacturing	✓		✓			
Augmented Reality				✓		
Big Data Analytics	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Blockchain Technology	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cloud Services	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CPFR	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Drones					✓	✓
EDI		✓	✓	✓	✓	
E-Procurement		✓				
ERP	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GPS and GPRS					✓	✓
Pick-to-Light and Pick-by-Voice				✓		
RFID		✓	✓	✓	✓	✓
S&OP	✓					
IoT		✓	✓	✓	✓	
TMS					✓	✓
WMS				✓	✓	
Wearable Technologies				✓	✓	

Ilustración 10. Tecnologías de la logística interna (Cano et al., 2021)

Estas tecnologías son una realidad, están disponibles. El reto está en hacer un uso efectivo de ellas en la empresa, además de contar con el personal que tenga las competencias necesarias para poder explotarlas al máximo, todo dentro del marco de la industria a la que se aspira. En consecuencia, tal como se describe en (Cano et al., 2021), tecnologías como Big Data analítica, servicios en la nube y los ERP apoyan tanto los procesos de planificación logística como procesos operativos. Los sistemas de identificación automática y de recogida de información, como la RFID, se utilizan en cada proceso logístico para alimentar redes de sensores y sistemas de trazabilidad ofreciendo visibilidad del flujo de productos a lo largo de la cadena de suministro.



El IoT integrado con RFID y el *blockchain* facilita la generación y transmisión de información para vincular todas actividades y operaciones logísticas dentro de las empresas, permitiendo desarrollar una estrecha relación entre clientes y proveedores, mejorando la visibilidad para ofrecer en tiempo real trazabilidad, autenticidad y legitimidad de los productos

El objetivo de este apartado es presentar las tendencias logísticas modernas, donde se analizarán las principales tecnologías enmarcadas en la industria 4.0 que apoyan la gestión de la logística interna y los procesos de la cadena de suministro. Se establecerá su funcionalidad, el impacto y el alcance de estas tecnologías para la logística. Dando respuesta a la pregunta ¿cuáles son las principales tecnologías que apoyan la gestión de la logística interna y los procesos de la cadena de suministro? Además, se mostrarán varias aplicaciones y casos de estudio que servirán de guía para la parte de aplicación que se realizará en el último capítulo.

#### 4.2. Big Data

El *big data* es un término que describe el gran volumen de datos en las empresas. Según indica (Yudhistyra et al., 2020), los *big data* son “activos de información de gran volumen, alta velocidad y variedad” que exigen formas innovadoras de procesamiento de la información para mejorar el conocimiento y la toma de decisiones. Más tarde, los científicos de IBM añadieron dos dimensiones más de *big data*, “alta capacidad” y “alta variabilidad”. Actualmente el *big data* está caracterizado por cuatro dimensiones: volumen, veracidad, velocidad y variedad. El volumen hace referencia a la una gran cantidad de información que se debe manejar (gigabytes, terabytes, petabytes, exabytes). La veracidad se debe a que los datos que se recopilan deben ser validados. La velocidad es la rapidez con la que se crean y capturan los flujos de datos. Por último, la variedad hace mención de que los datos provienen de múltiples fuentes.

Según el artículo publicado por (Rozo-García, 2020), el Big data hace referencia a las soluciones de hardware y software que permiten capturar, almacenar y organizar el acceso a grandes cantidades de datos, que no pueden ser analizados por las herramientas tradicionales ya que son insuficientes. Lo importante en *big data* es que debe combinarse con una variedad de enfoque analítico (es decir, análisis estadístico, visualización, agrupación, etc.) para extraer información valiosa del gran conjunto de datos. La cantidad de datos producidos y comunicados está aumentando considerablemente, lo que supone un reto para las organizaciones que quieren aprovechar los beneficios del análisis de este flujo masivo de datos. Esto se debe a que el Big Data puede proporcionar las tendencias del mercado, los patrones de compra de los clientes y los ciclos de mantenimiento, así como formas de reducir costes y favorecer la toma de decisiones específicas (Efthymiou & Ponis, 2021).

El análisis de grandes cantidades de datos representa la capacidad de adquirir conocimientos a partir de los datos con la aplicación de estadísticas, matemáticas, simulaciones, etc., para tomar mejores decisiones. La analítica empresarial de *Big Data* es muy importante para las empresas y, si se utilizan correctamente, pueden



mejorar la visibilidad y la flexibilidad de sus operaciones y también gestionar eficazmente su cadena de suministro y sus procesos logísticos mediante la gestión de la variación de la demanda y las fluctuaciones de los costes. La analítica empresarial del *big data* se puede clasificar en tres categorías principales (Wang et al., 2016): el *análisis descriptivo*, que tiene como objetivo identificar los problemas y las perspectivas de los procesos y operaciones existentes; el *análisis predictivo*, que pretenden proyectar lo que ocurrirá en el futuro y dar razones de por qué puede ocurrir y, el *análisis prescriptivo*, que tiene como objetivo mejorar el rendimiento empresarial mediante la toma de decisiones multicriterio, la optimización y la simulación.

El *big data* conlleva los siguientes retos según (Wang et al., 2016): el volumen acumula ruido de datos; el alto volumen genera costes computacionales e inestabilidad algorítmica; y la gran variedad requiere diferentes técnicas y metodologías. Estos retos se traducen en heterogeneidad, variaciones experimentales y sesgos estadísticos. Por lo tanto, se necesitan procedimientos más adaptables y robustos, ya que los métodos estadísticos tradicionales fueron diseñados para tamaños de muestra moderados y datos de baja dimensión, pero no para datos masivos. Debido a las características del Big data, los procedimientos estadísticos eficaces han recibido una atención creciente para la exploración del Big data. Por lo tanto, es necesario implementar procedimientos de optimización a gran escala y, desarrollar algoritmos aleatorios y de aproximación.

Emplear el *Big Data* en las empresas les permite encontrar información oculta, predecir tendencias y comportamiento de los usuarios. (R & M, 2019). (Yudhistyra et al., 2020) dice que habrá escasez de profesionales cualificados en Big data disponibles, mientras que existirá una gran demanda de analítica de datos en este momento. Además, las previsiones apuntan a un crecimiento estimado del 12% en 2024 para los puestos de trabajo de análisis de datos en comparación con el crecimiento previsto del 6,5% de media para otros. A medida que los datos masivos comienzan a crecer y evolucionar, el BDA (*Big Data Analytics*) seguirá creciendo y adquiriendo importancia en el ámbito empresarial y académico.

Hay que prestar atención no solo al alcance del *big data* para las actividades de los clientes, sino también al tipo de industria (manufacturera o de servicios), las metas y objetivos de la organización, el mercado y las capacidades y competencias tecnológicas de la organización. Para poder utilizar con eficiencia la analítica del big data las organizaciones dependen en gran medida de: una sólida recopilación y limpieza de datos, importantes inversiones en infraestructura tecnológica (por ejemplo, sistemas informáticos) y recursos humanos (por ejemplo, analistas de datos). Habría que auditar estos sistemas con regularidad para garantizar que se recogen y analizan los datos adecuados, e identificar cualquier necesidad de actualización. Aparte de actualizar los datos también se debe actualizar constantemente las metodologías y técnicas, así como los diferentes indicadores clave de rendimiento (Wang et al., 2016).

El *big data* se aplica en diferentes áreas como la medicina, el gobierno, la industria manufacturera, la logística, en la educación, en los medios sociales, seguridad, en IoT, ..., entre otros. Algunos modelos de su aplicación en la logística





interna son en las áreas de planificación de la producción, los inventarios y las operaciones. Por ejemplo, la visibilidad de los datos de ventas, los datos de inventario y la planificación de la producción pueden ser analizados para identificar desajustes entre la oferta y la demanda con un análisis en tiempo real.

#### 4.2.1. Aplicación en WALMART

Un ejemplo de aplicabilidad del *big data* es en Walmart, una de las empresas más grandes del mundo. La multinacional americana funciona como una cadena de hipermercados. Walmart utiliza el *big data* de diversas maneras aprovechando los beneficios que el análisis de datos otorga a su empresa. El ecosistema de Big data de Walmart procesa varios terabytes de datos nuevos y petabytes de datos históricos cada día. El análisis abarca millones de productos y cientos de millones de clientes de diferentes fuentes.

En cuando a la aplicación del *big data* en la logística de Walmart se encuentra la gestión del inventario mediante el análisis predictivo. La analítica predictiva ayuda a Walmart a reducir el exceso de existencias y a mantenerse correctamente abastecido de los productos más demandados. Los proveedores de Walmart están obligados a utilizar el sistema de gestión de inventario de proveedores en tiempo real que les ayuda a minimizar el inventario de un producto concreto si no hay ventas significativas de este. En conclusión, Walmart ha conseguido un control de stock muy eficiente que les permite tener los productos correctos a la hora correcta para sus clientes (ProjectPro, 2022).

#### 4.2.2. Caso de estudio en una fábrica de automóviles

En el trabajo de (Silva et al., 2021) muestran un caso real de demostración del desarrollo e implantación de un Big Data Warehouse (BDW). El dominio de aplicación que se aborda en este trabajo es en el departamento de innovación de logística de una fábrica de automóviles. En este contexto, el departamento de logística maneja grandes cantidades de datos relacionados con cerca de 7000 materias primas procedentes de unos 400 proveedores repartidos por todo el mundo, que influyen en la producción de unos 1100 productos acabados. En cuando a la gestión logística interna, el departamento se encarga de supervisar y analizar los datos y movimientos de materiales referidos a unas 85 entregas diarias programadas, con el fin de garantizar el suministro del material necesario para el buen funcionamiento de unas 100 líneas.

Ante la complejidad de la topología de la cadena de suministro de la organización, esta pretende impulsar una propuesta de desarrollo y evaluación de herramientas de *Big Data Analytics* capaces de integrar y automatizar gran parte de los procesos logísticos que, hasta ahora han sido gestionados por hojas de cálculo convencionales extraídas de las metodologías clásicas y parametrizables de MRP. Esos procesos empresariales son cruciales para mantener las líneas de producción y entregar a tiempo los productos acabados a los clientes.

Con la colaboración de expertos clave del departamento de logística, se seleccionaron los siguientes procesos: producto, inventario, entrega, pedido y



necesidades. Cada uno de estos procesos se apoya en una o varias tablas del ERP que utiliza la organización. El siguiente paso es asegurar la calidad de los datos, una de las tareas más importantes en los proyectos relacionados con los datos. En este caso, esta actividad tiene una importancia significativa debido a la complejidad de las fuentes de datos y su elevado número de atributos. Por este motivo, se definieron criterios de calidad de datos para verificar si un atributo se utilizaría en la BDW.

Con la implementación de BDW fue posible crear un repositorio de datos que incluye varios procesos empresariales del departamento de logística. Cada proceso contiene datos de una o más tablas de la base de datos transaccional utilizada por la organización. El modelo de datos es dinámico y puede cambiar rápidamente para incluir más tablas con más información relacionada con cualquier objeto que ya exista en la BDW o para crear nuevos. Se puede utilizar con los objetos de inventario para analizar qué planta tiene más inventario en sus almacenes.

#### 4.2.3. Aplicación en CJ LOGISTICS

Otro caso de aplicabilidad del *Big Data* en la logística es el estudiado por (Jin & Kim, 2018). El estudio se lleva a cabo en CJ Logistics, la mayor empresa de logística de Corea, que presta servicio de mensajería. El estudio examina el proceso de clasificación, especialmente en lo que respecta a las decisiones sobre los muelles de carga/descarga. CJ Logistics procesa más de 5.3 millones de paquetes al día. Esta empresa utiliza principalmente un sistema *hub-and-spoke*, que conecta puntos a través de *hubs* o centros logísticos que se ocupan de volúmenes de carga masivos en su servicio de mensajería.

En este sistema los paquetes se reúnen y clasifican en una terminal antes de ser entregados a una terminal de destino. Dado que la logística de CJ Logistics utiliza sobre todo el sistema *Hub-and-spoke*, cuyo núcleo es el proceso en la terminal central, el estudio de este caso se centró en las decisiones relativas a los muelles de carga/descarga en el proceso. Muchos proveedores de servicios de mensajería asignan los muelles de carga/descarga simplemente en función de las condiciones de la terminal, como la distancia entre los muelles y el número de paquetes, basándose sobre todo en la experiencia anterior.

CJ Logistics ha mejorado drásticamente la productividad y la eficiencia al "ver lo que no se ve" mediante el uso de data/BDA. CJ Logistics ha experimentado un drástico aumento en sus operaciones, por lo que la capacidad de las terminales *hub* de la empresa había alcanzado su límite, y los cuellos de botella en el proceso logístico se estaban volviendo graves. Esta situación dejó claro que era imperativo que la empresa encontrara una solución a través de métodos que pudiesen mejorar la capacidad de la terminal del *hub*. Para abordar esta cuestión, CJ Logistics decidió integrar BDA en sus actuales procesos.

En primer lugar, se recopiló la información sobre los millones de paquetes que pasan por las terminales del *Hub*, así como las rutas, los puntos de transición, el tiempo de traslado, los muelles de carga, el personal de clasificación para BDA. Después, se realizó una simulación con todos los datos recolectados, determinando



el factor de ponderación en función de la prioridad de carga, la clasificación de los clientes (*premium* y clientes generales), la clasificación de los vehículos, del contenido y del tiempo que lleven esperando.

Después de completar la simulación y toda su parametrización se muestra cuánto tarda en descargar/cargar el camión con el método tradicional (57 min y 34s) y cuánto tardaría con la simulación basada en *Big data*, revelando que la asignación de muelles según el número de artículos a cargar (método anterior), era muy ineficiente. Los resultados de la simulación mostraron que la descarga en el muelle F8, edificio B, podía reducir el tiempo de viaje del vehículo a una quinta parte del tiempo real. Los resultados permitieron a la dirección tomar decisiones optimizando la asignación de muelles y teniendo en cuenta el flujo del tráfico de mercancías en las terminales centrales logrando que el flujo de productos mejorara drásticamente y, en consecuencia, aumentando el procesamiento por hora.

### 4.3. Internet de las cosas

El concepto de internet de las cosas tiene su origen en el MIT y “representa la próxima evolución de internet”. (Rozo-García, 2020) dice que el IoT tiene el potencial de mejorar el mundo tal y como lo conocemos. Según (Efthymiou & Ponis, 2021), IoT es la conexión de dispositivos electrónicos entre sí a través de internet. En otras palabras, el IoT crea una infraestructura de red completa para conectar objetos físicos y sistemas virtuales mediante el uso de internet. Estos dispositivos utilizan sensores incorporados para recoger y enviar datos.

Por tanto, el contexto, la omnipresencia y la optimización son las tres características clave del IoT (Vaidya et al., 2018). El contexto se refiere a la posibilidad de interacción avanzada de los objetos dentro de un entorno y la capacidad de respuesta inmediata cuando algo cambia. La omnipresencia se refiere a la provisión de información sobre ubicación de un objeto. Por último, la optimización muestra el hecho que los objetos actuales son algo más que simples conexiones (Efthymiou & Ponis, 2021)

Según la publicación de *Internet Society* de (Fedele, 2011), el IoT son “escenarios en donde la conectividad de la red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que habitualmente no se consideran computadores”. En otras palabras, existe una interacción entre el mundo físico y el biológico con los sistemas cibernéticos, permitiendo que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana. El IoT se basa en las TIC que permiten, la identificación, comunicación y gestión inteligente de las cosas. En este contexto, las cosas se convierten en objetos inteligentes. La realización del IoT permite la creación de un modelo de realidad virtual en el que los modelos de negocio serán capaces de gestionar procesos y actividades en tiempo real a partir de información sobre el estado actual de los objetos.

La tasa de penetración del IoT en las empresas dentro del sector de la logística es muy alto; se ha visto facilitada porque la logística es una de las áreas más



adecuadas para que florezca el IoT. Los diferentes activos a lo largo de la cadena de suministro pueden conectarse para capturar y analizar los datos con el fin de obtener nuevo conocimiento. Por ejemplo, los sensores y el IoT están permitiendo que los contenedores de mercancías informen cuándo se ha superado un determinado valor, ya sea en la temperatura, la inclinación o la intensidad de la luz entrante, logrando que la carga que se transporta permanece a la vista en toda la cadena de suministro (Tijan et al., 2019).

Además, las tecnologías de identificación aplicadas a diferentes objetos en la logística han dado lugar a la existencia de objetos inteligentes como pallets, embalajes, estanterías, carretillas elevadoras e infraestructuras (R & M, 2019). El IoT en la logística interna supone que la gestión del inventario mejore, ya que las empresas pueden conocer, en todo momento, la posición del inventario en los almacenes. Esto les ayuda a satisfacer las demandas fluctuantes de los clientes de una manera eficiente. Antes de que se agote en el almacén, la empresa puede reunir existencias adicionales y mantener el equilibrio entre la demanda de los clientes y la oferta (Torino & Vacca, 2018).

Es importante abordar el tema de las redes de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Network*), que son sistemas formados por un sensor y una red de comunicación inalámbrica (R & M, 2019). Estas redes permiten la recogida y transferencia de datos entre los nodos sensores, los dispositivos de acceso y los usuarios de la red. Los sensores se utilizan para: identificar objetos y sus características físicas; características de la mercancía, medios de transporte y transbordo de contenedores; ubicaciones en almacenes e instalaciones de venta equipos e infraestructura. Algunos ejemplos de su aplicabilidad en el medio de la logística interna son: la calidad del control de mercancías, que se basa en el análisis de los datos obtenidos por los sensores instalados; infraestructura e instalaciones de logística; en la ropa de trabajo con sensores incorporados para mejorar las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores.

(Rozo-García, 2020) comenta en su artículo "*Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0*", que distintos autores han pronosticado a qué velocidad crecerá la adopción de IoT. Por ejemplo, CISCO proyectó que para el 2019 cerca de 34 mil millones de dispositivos (entre *desktops*, teléfonos inteligentes, tabletas, relojes inteligentes, ...) estarían conectados a Internet. Este número equivale a un promedio de cuatro dispositivos en la red para cada individuo en el planeta; teniendo en cuenta que la población mundial actual ya llega a 7,5 mil millones de personas. En la ilustración 11 se puede ver la previsión del crecimiento en el uso de dispositivos IoT hasta el 2025.

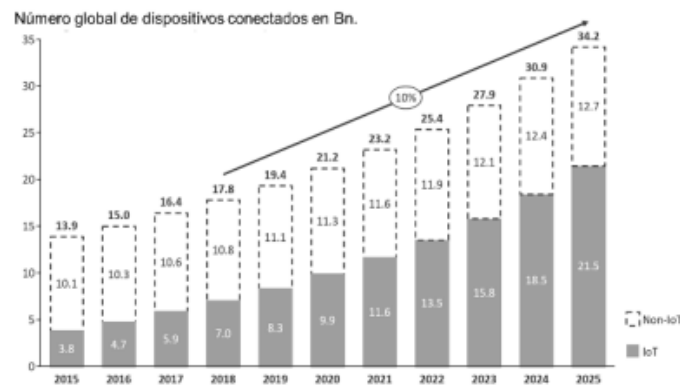


Ilustración 11. Estimación del crecimiento en el uso de dispositivos IOT (Roza-García, 2020)

Se calcula que en el año 2025 existirán más de 26 billones de dispositivos conectados incluyendo casas, teléfonos, autos y fábricas. Esta era de hiperconectividad se conoce como “La era de Internet de las Cosas”, que impone grandes desafíos y conduce a las industrias a adaptar sus procesos de producción a la nueva realidad (Candia et al., 2018).

#### 4.3.1. Aplicación en un almacén de DHL en colaboración con CISCO

Un ejemplo del éxito del IoT en la industria es el proyecto de almacén IoT de DHL/Cisco, en el que se llevó a cabo la visualización de datos operativos a través de IoT (DHL, 2017). En colaboración con Cisco y conducido por DHL *Supply Chain*, se presentaron las cabinas de IoT en tres almacenes inteligentes de Alemania, Países Bajos y Polonia, logrando mejorar la eficiencia operativa y sentar las bases de prácticas de trabajo más seguras.

La solución implementada permite a DHL supervisar las actividades operativas en tiempo real a través de la visualización gráfica de los datos operativos que se obtienen de los sensores, escáneres y equipos de manipulación de materiales que están en los almacenes de DHL, tal y como se puede apreciar en la Ilustración 12.



Ilustración 12. Monitorización de las actividades del almacén mediante IoT (Gutierrez, 2017)



Se realiza el seguimiento de las actividades operativas en tiempo real, y no de forma retrospectiva, permitiendo que los datos sean interpretados de forma más significativa y mejorar la eficiencia operativa, solucionando así los problemas y tomando decisiones en tiempo real. La aplicación proporciona información sobre el funcionamiento de los almacenes integrando la información de todos los elementos de un almacén en una única y atractiva interfaz.

Los sensores de DHL también se utilizan para monitorizan el estado de los envíos. DHL equipa rutinariamente los envíos farmacéuticos sensibles con dispositivos de registro como el dispositivo de comunicación de campo cercano SmartSensor (Ilustración 13). Los SmartSensors pueden registrar no solo la temperatura, sino también la humedad, golpes, luz e incluso la presión atmosférica. La última versión de estos sensores utiliza NFC, permitiendo a los usuarios autorizados leer los datos a través de una aplicación en un *smartphone* convencional, mejorando la experiencia del usuario (DHL, 2020).



Ilustración 13. Smart sensor de DHL (DHL, 2020)

#### 4.3.2. Aplicación en Siemens

Otra aplicación del IoT es en la empresa Siemens. Uno de los grandes referentes en la industria 4.0 tanto como proveedor de soluciones para otras empresas como por sus propias fábricas. Gracias al mantenimiento predictivo, los trabajadores de la planta reciben información a través de MindSphere, un sistema operativo abierto del IoT, basado en la nube de Siemens. Es capaz de conectar todos los equipos y sistemas de una empresa, extraer sus datos y convertirlos en información valiosa.

MindSphere cuenta con un protocolo abierto de actuación y diversas funcionalidades como el acceso remoto a los servicios en la nube. MindSphere conecta el mundo real y el virtual para obtener todos los datos disponibles y convertirlos en información. Esta información se recolecta de manera selectiva a intervalos configurables. Desde la plataforma se puede visualizar, explorar y evaluar los datos. Una vez recopilados estos datos se analizan para informes y tomar decisiones (Fernando Martínez, 2022).

MindShere permite el monitoreo remoto de equipos lo que permite a los fabricantes de piezas y máquinas industriales monitorear de forma remota la salud, la condición y el estado de las máquinas en el campo. Permitiendo diagnosticar, reparar o actualizar equipos de forma inmediata y remota, así como reducir el tiempo entre la



detección y la solución. El monitoreo remoto de la condición implica conectarse a los sensores en el equipo en servicio a través de IoT y luego rastrear de forma remota cómo y cuándo se usa el producto y cómo se está desempeñando. Esto admite el mantenimiento predictivo, proporcionando datos de tendencias en tiempo real que muestran las fluctuaciones en el comportamiento de los activos y envía alertas cuando las fluctuaciones superan las normas aceptadas y definidas por el usuario para ese activo. Este enfoque elimina el desperdicio asociado con las reparaciones preventivas innecesarias y alerta al personal de mantenimiento sobre los problemas antes de que se agraven, lo que permite un mantenimiento programado por etapas basado en la necesidad documentada (Fernando Martínez, 2022).

#### 4.4. Blockchain

La idea detrás de la tecnología Blockchain se remonta a 1991, cuando Stuart Haber y W. Scott publicaron su trabajo sobre cadenas de bloques criptográficamente seguras (Tijan et al., 2019). El Blockchain es una tecnología que se traduce como “cadena de bloques”. (Rozo-García, 2020) cita en su investigación que el Blockchain *“es un libro digital de transacciones económicas, el cual se puede programar para registrar no solo aquellas transacciones financieras, sino virtualmente todo lo que tiene valor”*.

Según (Baars & Kemper, 2015), el Blockchain puede definirse simplemente como un sistema que registra las transacciones entre partes de forma segura y permanente. Un Blockchain es básicamente una base de datos de registros (es decir, todas las transacciones o eventos digitales que se han ejecutado) se distribuyen y comparten entre los participantes. Cada transacción se verifica mediante el consenso de una mayoría de los participantes en el sistema y, una vez introducida, la información no puede ser borrada. El Blockchain contiene un registro específico y verificable de cada una de las transacciones que se han realizado.

El ejemplo más popular del Blockchain es la moneda digital llamada Bitcoin. En el contexto de la logística, el Blockchain puede ayudar a ahorrar costes al impulsar procesos más ágiles, automatizados y sin errores. Puede añadir visibilidad y previsibilidad a las operaciones logísticas, lo que puede conducir a la aceleración del flujo de mercancía. (Tijan et al., 2019). En una cadena de suministro la información, o los datos, de los distintos participantes como proveedores, fabricantes, distribuidores, mayoristas y minoristas se recopilan a través de diversas tecnologías avanzadas de recopilación de datos, como sensores IoT, GPS, RFID, códigos QR y API.

En cada etapa, los datos en tiempo real se introducen en forma de bloques a una red de cadenas de bloques. Como un sistema de cadena de bloques actúa como una única fuente de datos que almacena toda la información en un libro de contabilidad inmutable y distribuido digitalmente, es visible para todos los participantes de la red. Sin embargo, se puede utilizar un sistema con permisos para garantizar que solo los usuarios clave tengan acceso a añadir nuevos bloques al sistema y el resto solo puedan seguir el estado de un pedido a través de su acceso



de solo visualización. Además, se pueden utilizar varias aplicaciones de terceros para recuperar datos de trazabilidad de productos de extremo a extremo de una red de Blockchain utilizando un token aprobado en cualquier formato necesario para la visualización.

La etiqueta del producto con un código de barras o un código QR puede ser utilizada por el cliente para rastrear el origen del producto y las diversas etapas de adición de valor por las que pasó a un nivel granular, para obtener la procedencia de la cadena de suministro. Los datos transparentes e inmutables conducirán a un aumento de la confianza y la satisfacción de los clientes. Además, el sistema de seguimiento ayuda a los fabricantes a reducir los gastos generales y a validar la autenticidad de los productos (Raja Santhi & Muthuswamy, 2022). El flujo de datos en la cadena de suministro con el apoyo de varios sistemas de recopilación de datos y la tecnología Blockchain se muestra en la Ilustración 14.

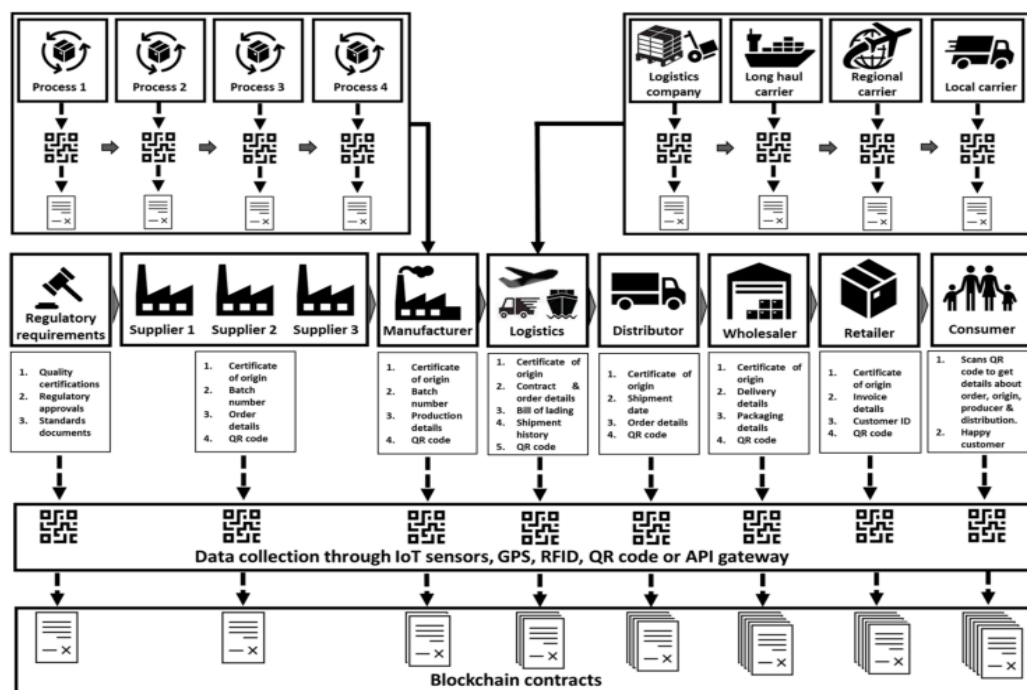


Ilustración 14. La tecnología Blockchain en la cadena de suministro (Raja Santhi & Muthuswamy, 2022)

El Blockchain tiene el potencial de mejorar la seguridad de los datos sensibles a la privacidad. Además, puede contribuir eficazmente, por su naturaleza descentralizada, a compartir información sobre el proceso de producción, entrega, mantenimiento y desgaste de productos entre proveedores y vendedores, aportando nuevas modalidades de colaboración en las líneas de montaje complejas (Tijan et al., 2019). Aunque los beneficios de la tecnología Blockchain se han investigado más ampliamente en el sector financiero, los principales retos de la logística, como el retraso de los pedidos, los daños a las mercancías, los errores y la introducción de múltiples datos, pueden también minimizarse introduciendo la tecnología Blockchain.





Debido a la complejidad y la falta de transparencia de las cadenas de suministro tradicionales, es de gran interés para las partes implicadas en el proceso logístico desarrollar la tecnología Blockchain para mejorar los procesos logísticos y hacerlos más sostenibles. Con el uso del Blockchain es posible aumentar la transparencia, seguridad y además se logra acelerar el flujo físico de las mercancías. El seguimiento de las mercancías a través de Blockchain puede mejorar el proceso de toma de decisiones y el resultado final de un servicio más satisfactorio para el usuario final. (Tijan et al., 2019).

La tecnología Blockchain tiene varios retos y limitaciones. La escalabilidad, la alta energía y potencia de cálculo, el rendimiento, el alto coste de configuración y la falta de estandarización son algunos de los principales. Por ejemplo, los protocolos de consenso utilizados para mantener la integridad de la cadena de bloques deben ejecutarse cada vez para añadir nuevos bloques. Al añadirse continuamente nuevos bloques a la cadena se consume más energía y requiere una enorme potencia de cálculo. Esto hace que la integración de la tecnología con dispositivos IoT más pequeños y de baja potencia sea extremadamente difícil, y las empresas podrían enfrentarse a problemas para alcanzar la sostenibilidad. A medida que aumenta la potencia de cálculo requerida, también puede llevar a un mayor tiempo de procesamiento, lo que hace que el sistema sea ineficiente (Raja Santhi & Muthuswamy, 2022). A continuación, se describen algunos casos de éxito en la aplicación del Blockchain.

#### **4.4.1. Aplicación en RCS Global en colaboración con IBM**

RCS Global, líder en el suministro responsable de materias primas, se ha asociado con IBM y ha desarrollado la *Responsible Sourcing Blockchain Network*. Creada originalmente para rastrear el origen del metal de iones de litio utilizado en la fabricación de baterías, la tecnología puede soportar el seguimiento de principio a fin de todas las materias primas, desde la mina hasta el cliente. Los detalles del flujo del proceso desde el momento en que el metal se extrae y se traslada a varias etapas como la fundición, la unidad de cátodos, la unidad de baterías, las plantas de fabricación, hasta que llega a un vehículo eléctrico o un aparato electrónico de consumo. Esto garantiza a los clientes que los minerales utilizados en el producto proceden de un lugar de abastecimiento responsable, libre de conflictos y prácticas no éticas (Raja Santhi & Muthuswamy, 2022). Con el uso del Blockchain, cada vez que se intercambia un producto entre las partes, la transacción se documenta, creando un historial permanente del producto, desde la fabricación hasta la venta (Tijan et al., 2019).

#### **4.4.2. Aplicación en DHL en asociación con Accenture**

DHL se asoció con Accenture a principios de 2018 para hacer seguimiento de la cadena de suministro farmacéutica, mediante el uso de Blockchain, desde la fábrica hasta el consumidor final. Para rastrear los productos farmacéuticos a lo largo de la cadena de suministro DHL y Accenture crearon un sistema de serialización basado en Blockchain con nodos en seis geografías. El libro que rastrea estos medicamentos solo puede compartirse con las partes interesadas, que incluyen fabricantes,



hospitales, farmacias, almacenes, distribuidores y médicos; por lo tanto, ayuda a eliminar el riesgo de las falsificaciones. Al estar los datos almacenados de forma segura en un lugar común y compartido, los clientes pueden comprobar el estado de autenticidad de cada artículo que compran (Accenture, 2018).

#### 4.4.3. Aplicación en IBM (Food trust)

El reciente lanzamiento de IBM Food Trust es una solución de Blockchain híbrida basada en la nube que reúne a agricultores, proveedores y minoristas en un ecosistema para mejorar la trazabilidad, la transparencia y la eficiencia de la cadena de suministro de alimentos. Permite a los participantes establecer niveles de acceso personalizados y colaborar de forma segura lo que garantizaría eficazmente la seguridad de los alimentos, reuniendo, transfiriendo y compartiendo datos auténticos en los eslabones de producción, transformación, almacenamiento, distribución y venta. IBM, Walmart y Nestlé aspiran a utilizar Blockchain para conseguir una cadena de suministro alimentaria global más transparente, auténtica y fiable (Tijan et al., 2019).

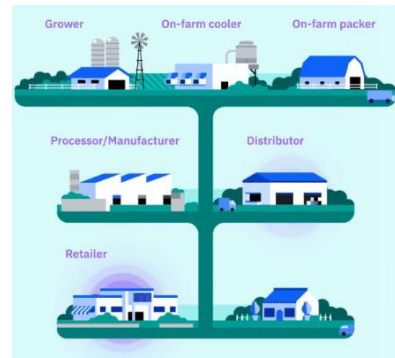


Ilustración 15. IBM Food Trust (IBM, 2022)

#### 4.5. Inteligencia artificial

El nacimiento de la IA como disciplina de investigación se remonta a 1956, durante una conferencia sobre informática teórica que tuvo lugar en el Dartmouth College (Estados Unidos). A esa conferencia asistieron algunos de los científicos que posteriormente se encargaron de desarrollar la disciplina en diferentes ámbitos y de dotarla de una estructura teórica y computacional apropiada. El *Logic Theorist* fue el primer programa de ordenador que emulaba características propias del cerebro humano, por lo que es considerado el primer sistema de inteligencia artificial de la historia. El sistema era capaz de demostrar gran parte de los teoremas sobre lógica matemática que se presentaban en los tres volúmenes de los *Principia Mathematica* de Alfred N. Whitehead y Bertrand Russell (1910-1913) (Benítez et al., 2013).

Se debe tener en cuenta que la inteligencia puede ser concebida tanto en términos de razonamiento (pensamiento) como de comportamiento (actuación). Por otra parte, se puede construir una métrica de comparación de la inteligencia con respecto al rendimiento humano o con respecto a un modelo ideal de inteligencia,



comúnmente conocido como racionalidad. Por lo tanto, la IA puede definirse según (Ramingwong et al., 2021) como la rama de la informática que se ocupa de las diferentes formas de representar e implementar como un agente racional transforma sus percepciones en acciones. En consecuencia, la IA pretende desarrollar algoritmos que, dadas las propiedades del entorno y la estructura del agente, produzcan comportamientos racionales.

Según (Cuenca, 2015) la IA, es un sistema de aprendizaje automático que permite replicar las habilidades humanas, y se utiliza generalmente para tareas que requieren movimientos repetitivos, sustituyendo el trabajo humano por el de las máquinas que operan de forma autónoma. También facilita la identificación de patrones y desencadena acciones específicas a partir de un gran volumen de datos de diferentes fuentes. La IA utiliza principalmente para predecir la demanda, lo que permite el ajuste flexible y rápido de los inventarios y la optimización de la distribución de productos con vistas a reducir los costes y los plazos de entrega.

Según (Maisueche Cuadrado, 2019) la Inteligencia Artificial es la habilidad que tiene una computadora para presentar las mismas capacidades que un humano a nivel de procesamiento de información, aprendizaje y toma de decisiones. Por lo tanto, su objetivo es hacer frente a problemas complejos imitando la lógica y el razonamiento humano a través de algoritmos. Para aplicar dichos algoritmos se emplea una herramienta llamada *Machine Learning* (Aprendizaje Automático), que gracias a técnicas estadísticas permite que las máquinas aprendan con la experiencia. El sistema puede detectar patrones, hacer asociaciones y obtener información de los datos. Por tanto, se trata de crear lo que generalmente son conexiones significativas entre la entrada y la salida utilizando la IA.

Hasta hace unos diez años, el objetivo de la investigación de la IA era reproducir la inteligencia humana en las máquinas. Las cinco capacidades siguientes se incluyen como mínimo bajo el término de IA: percepción, extracción de conclusiones, aprendizaje, resolución de problemas, e inteligencia lingüística. La IA ya no está en la etapa de investigación inicial, sino que se ha convertido en parte de nuestra vida cotidiana, bien porque se trate de algoritmos de reconocimiento de voz como los utilizados por Siri de Apple y Alexa de Amazon, o el reconocimiento facial. Trabajar sin el soporte de la IA es ahora impensable en muchos sectores (Palma & Marín, 2018).

La robótica y el avance que se tiene de la inteligencia artificial ha permitido la creación de robots autónomos, flexibles y cooperativos. Con el paso del tiempo llegarán a tener una interacción unos con otros y trabajarán de forma segura junto a los humanos, logrando aprender de ellos y ofreciendo una gama de capacidades superiores a las manejadas en la fabricación de hoy en día (Pérez, 2019). Mediante el uso de tecnologías de IA, los proveedores de logística no solo pueden diferenciarse de la competencia, sino que también pueden aumentar sus retornos. El análisis inteligente de los volúmenes de datos que surgen en todas las etapas de la cadena de suministro hace posible detectar interrelaciones nunca vistas, desarrollar escenarios realistas para el futuro cercano y diseñar el flujo general de bienes para que sea mucho más ágil y menos susceptible a la interrupción.



#### 4.5.1. Aplicación del IA: programa “Zalando”

Un ejemplo de la aplicación del IA en la logística es el programa llamado “ZALANDO” descrito en su totalidad en (Palma & Marín, 2018). Un problema central con el *picking* en los almacenes es calcular las rutas óptimas para los operarios que preparan los pedidos. En Zalando, una red neuronal fue entrenada para determinar las rutas de picking más cortas. El algoritmo de IA produce una solución que permite asignar el trabajo de picking entre los empleados de manera más efectiva y acelerar el proceso.

El algoritmo OCaPi (selección de carro óptima) desarrollado por los expertos en IT de Zalando no solo considera las rutas de los empleados, sino también las rutas de los carruseles, que a veces estacionan en pasillos transversales, mientras que los empleados cogen artículos de las estanterías (Ilustración 16). Al hacerlo, se le ocurre la ruta más corta. Para reducir el tiempo de las rutas se generaron un millón de listas aleatorias y se etiquetaron con su tiempo de *picking* utilizando OCaPi. Estos datos fueron luego alimentados en una red neuronal. De esta manera, se desarrolló una arquitectura de red que puede calcular los tiempos de viaje con una tasa de error en la región de poco más de 32 segundos por hora, un valor insignificante.

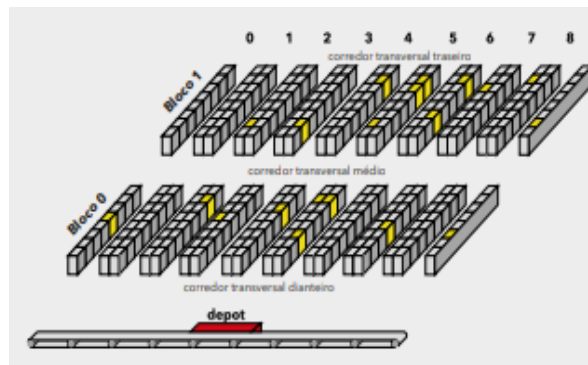


Ilustración 16. Zalando, optimización de la ruta de *picking* con IA (Palma & Marín, 2018).

#### 4.5.2. Aplicación en Hospital Universitario de Odense

El siguiente caso de estudio fue desarrollado por (Klumpp et al., 2021). Actualmente se investiga y se desarrollan diferentes programas de IA para varios sectores como es el caso del Hospital Universitario de Odense, así como en muchos hospitales de Europa. El caso de estudio será la optimización de los equipos humano-robot en las operaciones logísticas del hospital que se beneficiará de un sistema reactivo de gestión y programación de recursos basado en la IA para el transporte de materiales. El principal objetivo es mejorar los sistemas actuales de gestión de tareas con la inclusión de un programador optimizado basado en IA que podrá supervisar todos los robots disponibles y planificar, programar y asignar tareas al personal del hospital principalmente robots logísticos y a los empleados.

El software de gestión de tareas propuesto tendrá varias funciones y, por tanto, contendrá varios elementos diferentes: (1) un sistema automatizado de generación de tareas, basado en un algoritmo de aprendizaje por refuerzo, que analiza la relación



entre el uso de la sala y las necesidades de materiales para predecir qué se necesitará; (2) un elemento de programación que sabe de qué recursos de transporte dispone, su estado y dónde se encuentran; (3) un elemento de planificación reactivo que revisará la programación periódicamente, por ejemplo, cada hora o cuando se reciban nuevas solicitudes de transporte.

(4) un elemento de optimización del transporte que analiza la eficiencia y ajusta los parámetros de programación para producir el máximo transporte con el mínimo uso de energía; (5) un elemento generador de rutas eficientes para los robots que las envía a estos con sus nuevas tareas, de acuerdo con la programación, junto con un analizador del estado de la ruta que toma datos de los sensores de los robots; (6) un analizador de datos sensoriales que puede utilizar los datos entrantes de varias fuentes de infraestructura para informar a los elementos de toma de decisiones, por ejemplo, el uso de cámaras inteligentes que pueden medir la ocupación de las habitaciones para el generador de tareas;

(7) una representación de (a) la criticidad de la tarea, es decir, planificada, urgente y crítica en situaciones de emergencia; (b) el estado actual del flujo de materiales; (c) los robots (nombre, capacidades, ubicación, tarea actual y estado) y (d) las solicitudes de transporte de artículos (también disponibles en un formato legible para los humanos). La implementación de este software busca la optimización de las operaciones logísticas internas del hospital considerando tanto el transporte manual y automático en un sistema de recursos. Además, también generará, basándose en los datos recogidos, recomendaciones sobre cómo mejorar la logística manual y robótica.

#### 4.6. Machine Learning

¿Cuál es la relación entre la inteligencia artificial y el aprendizaje automático (ML, *Machine Learning*)? Como primera aproximación, se puede decir que el aprendizaje automático parece ser una rama de la IA; sin embargo, los agentes necesitan aprendizaje para mejorar su conocimiento del entorno. Por lo tanto, el aprendizaje en la IA no es un fin en sí mismo, sino un componente necesario para construir máquinas inteligentes. Lo que lleva a decir, que la IA y el ML están muy relacionados, pero persiguen caminos diferentes. El ML empezó a ganar atención como un campo independiente en la década de 1990. El objetivo del ML es resolver problemas prácticos basados en métodos y modelos estadísticos y probabilísticos (Ramingwong et al., 2021).

Una de las principales diferencias entre los humanos y los ordenadores ha sido que los seres humanos aprenden de los errores anteriores e intentan resolverlos corrigiéndolos o buscando nuevos enfoques para abordar un problema. Los programas informáticos tradicionales no se fijan en el resultado de sus tareas y, por tanto, son incapaces de mejorar su comportamiento. El campo del aprendizaje automático aborda precisamente este problema y consiste en la creación de programas informáticos que son capaces de aprender y, por lo tanto, mejorar su rendimiento al reunir más datos y experiencia (Luckert & Schaffer-Kehnert, 2015).



El ML se fundamenta en las matemáticas, la estadística y la computación. Los desarrollos en computación no llegaron hasta la década de 1940, pero antes de ese momento hubo varios métodos y técnicas matemáticas y estadísticas que sirvieron de base para lo que hoy se conoce como ML: el Teorema de Bayes, el ajuste por Mínimos Cuadrados y las Cadenas de Márkov. El primer científico que creó un programa de autoaprendizaje fue A. Samuel en 1952, que creó un programa que mejoraba el juego de las damas con el número de partidas jugadas (Luckert & Schaffer-Kehnert, 2015).

En 1967, el primer programa de reconocimiento de patrones fue capaz de detectar patrones en los datos comparando los nuevos datos con los conocidos y encontrando similitudes entre ellos. Desde la década de 1990, el aprendizaje automático se utiliza en áreas de minería de datos, sistemas de software adaptativo, así como en los campos de aprendizaje de texto y lenguaje. A modo de ejemplo, un programa informático que recopila datos sobre los clientes de una tienda de comercio electrónico y crea mejores anuncios personalizados a partir de esa información tiene la capacidad de adquirir nuevos conocimientos y se acerca a la inteligencia artificial (Luckert & Schaffer-Kehnert, 2015).

(Rozo-García, 2020) define de ML como “*un campo de estudio que le da a las computadoras la capacidad de aprender sin ser programado explícitamente*”. El ML necesita datos para alimentar un algoritmo que sea capaz de comprender la relación entre la entrada y la salida del sistema que se está estudiando, y así poder obtener conocimiento de los datos, utilizando algoritmos para la clasificación, generación y predicción de estos.

En la investigación (Martínez, 2019) cita a Calvo Guzmán sobre el ML donde la define como “*conjunto de métodos capaces de detectar automáticamente patrones de datos, y usarlos para predecir sobre datos futuros o bien para llevar a cabo otros tipos de decisiones en un entorno de incertidumbre*”. En su forma básica, es un algoritmo de aprendizaje automático que se alimenta de información que debe analizar y reconocer para obtener un resultado específico.

Un ejemplo clásico de ML es la clasificación de correo no deseado. El programa presenta miles de mensajes de correo electrónico que se clasifican ya sea como “spam” o como “no spam”. De esta manera el algoritmo aprende a identificar el correo no deseado mediante la identificación de ciertos elementos que los distingue de los correos electrónicos legítimos. Así pues, los algoritmos intentan detectar patrones en las bases de datos existentes, con el fin de clasificar los datos o de realizar predicciones. Algunos ejemplos son las recomendaciones de música o de compras en el caso de plataformas online, la optimización de campañas de marketing o la personalización del servicio al cliente (Palma & Marín, 2018).

Según cita (Paulino, 2022), el ML es uno de los principales elementos dentro de la revolución digital que aplica técnicas y algoritmos capaces de aprender a partir de distintas y nuevas fuentes de información, construyendo algoritmos que mejoran de forma autónoma con la experiencia; además, estos algoritmos aprenden de la experiencia (datos) para mejorar el rendimiento en una tarea específica. Todo ello se



debe a que es una rama de la inteligencia artificial, que permite a las máquinas aprender, realizar y mejorar las operaciones, haciendo uso de sus conocimientos y la experiencia previa en operaciones adquiridas en forma de datos.

Las técnicas de ML se utilizan para enseñar a las máquinas cómo manejar automáticamente un gran volumen de datos de manera más eficiente. A veces, la extracción de patrones o información del gran volumen de datos y su interpretación son imposibles con las técnicas tradicionales. La abundancia de conjuntos de datos disponibles ha provocado una creciente demanda de técnicas de ML. Las técnicas de ML se aplican ampliamente en diferentes industrias, desde la medicina hasta la logística, para descubrir y extraer conocimiento e información de los datos.

En la logística el ML proporciona diversas aplicaciones, incluida la selección de proveedores, la segmentación de proveedores, la predicción de riesgos de la cadena de suministro, la estimación de demanda y ventas, la producción, la gestión de inventarios y el transporte (Tirkolaee et al., 2021). Entre las técnicas de ML más utilizadas en los procesos industriales se encuentran las redes neuronales, los árboles de decisión y las máquinas de vectores de soporte.

Las redes neuronales, tratan de emular las características del cerebro para lograr su capacidad de procesamiento de información. Una red neuronal es un sistema de neuronas interconectadas que colaboran entre sí para producir un estímulo de salida. Por otro lado, los árboles de decisión son un método de aprendizaje inductivo supervisado. Está compuesto por un conjunto de condiciones organizadas en una estructura jerárquica, de tal manera que la decisión final a tomar se puede determinar siguiendo las condiciones que se cumplen desde la raíz del árbol hasta alguna de sus hojas. Y, finalmente, las máquinas de vectores soporte son modelos de aprendizaje supervisado basados en la teoría de aprendizaje estadístico (González-Marcos Fernando Alba-Elías, 2017).

#### **4.6.1. Aplicación de algoritmos de aprendizaje automatizado en la gestión de inventarios**

Una aplicación de algoritmos de aprendizaje automático en la gestión de inventario es en el almacenamiento, ya que se incurren en costes importantes. Por ejemplo, los costes anuales de almacenamiento en las cadenas de suministro son aproximadamente del 15 % al 35 % de su valor comercial total (Lawrentsius & Pinagara, 2017). La gestión de inventario de la cadena de suministro busca disminuir los costes, aumentar la variedad de productos y también mejorar el servicio al cliente. Sin embargo, estimar, predecir y acceder con precisión a la información mediante las reglas de decisión tradicionales es difícil porque esta información suele basarse en la experiencia y el juicio de los propios administradores de inventario.

En los últimos años, la ineficacia de los métodos tradicionales para hacer frente a la incertidumbre ha llevado a los investigadores a aplicar herramientas de ML que puedan explorar patrones comparables de entrada rápida en conjuntos de datos de almacén. (Gumus et al., 2010) aplicaron redes neuronales a la previsión del tiempo de entrega; en concreto, emplearon una demanda neuro-fuzzy en una cadena de suministro de varios niveles. Los resultados mostraron que su modelo propuesto



mejoró eficientemente el desempeño de la gestión de inventario. Además, el ML ha demostrado un rendimiento eficiente para la entrega interna de los materiales y para la automatización de la inspección de daños dentro de los centros logísticos. Como resultado, las herramientas de ML pueden encontrar los patrones de inventario ocultos que nunca se han desarrollado para reducir y ahorrar costes (Tirkolaee et al., 2021).

#### **4.6.2. Aplicación en Hitachi empresa de electrónica**

En un estudio realizado en 2016 por Crisp Research AG entre decisores de IT, se descubrió que el sector logístico es uno de los que mayor cantidad de empresas ya están haciendo uso activo de procesos con aprendizaje automático. Tal vez eso se deba, parcialmente, a la introducción del *e-commerce*, la rápida digitalización y los nuevos modelos de negocio. Un ejemplo de la aplicabilidad del aprendizaje automático y la IA es el creado por el grupo japonés de electrónica Hitachi, el cual desarrolló una tecnología IA llamada "H", que es una versión basada en la mejora continua de los procesos (Kaizen).

Este sistema analiza como los empleados tratan los problemas y recopila información, evaluando la eficiencia de los enfoques individuales. Si un enfoque particular ayuda a aumentar la eficiencia, se analiza con mayor profundidad y luego se transmite a otros empleados como una instrucción de trabajo. "H" puede reaccionar a los cambios a corto plazo, también puede incorporar datos meteorológicos y fluctuaciones en la demanda sin ningún comentario previo de un supervisor humano. Al usar "H", Hitachi afirma haber aumentado la productividad en un 8% en comparación con los almacenes similares sin IA (Palma & Marín, 2018).





## 5. Estudio de las soluciones aplicadas en la logística interna 4.0. Parte II

### 5.1. Robótica y automatización

La automatización y la robótica son dos tecnologías que van de la mano, ya que permiten realizar acciones o procedimientos repetitivos. La robótica en su forma industrial existe desde hace unos cincuenta años, ya que fue uno de los principales componentes de la tercera revolución industrial que se inició a finales de la década de 1960. La robótica ha avanzado tanto en formas como en capacidades y ha comenzado a cubrir muchos aspectos de nuestra vida y entorno. Esto se debe a varios factores, entre los que destaca el bajo coste en la última década del software y hardware. La segunda razón es que las capacidades técnicas de los sistemas robóticos son cada vez más versátiles y móviles, lo que permite realizar tareas más complejas y delicadas, además de trabajar con mayor libertad, por lo que no requiere un espacio estrictamente estructurado para operar (Bahrin et al., 2016).

Muchas empresas, centros de investigación y universidades reconocen que la tecnología de robótica y automatización es la base de la fabricación industrial y un importante motor de la industria 4.0 (Bahrin et al., 2016). La aplicación de la robótica y la automatización en los procesos de producción puede ayudar a mejorar la calidad de los productos acabados, a solucionar la escasez de mano de obra, las carretillas robotizadas proporcionan una mayor seguridad al reducir los accidentes y eliminando los errores, ya que la gran mayoría de los errores son causados por el factor humano.

Al mismo tiempo, la automatización sirve a las personas, que son sustituidas en tareas exigentes o repetitivas, permitiéndoles dedicarse a trabajos menos exigentes físicamente y con mayor valor añadido. Un aspecto positivo clave es



también la interconectividad de todos los sistemas, máquinas y subequipos y elementos del almacén (Zoubek & Simon, 2021b).

El desarrollo de la robótica sugiere que los robots, en el futuro, serán más rápidos, precisos, flexibles y asequibles, lo que acelera su uso. El mercado actual impone a las empresas logísticas una demanda más rápida, una mayor eficiencia y una respuesta más rápida a los usuarios de las empresas de logística. Existen numerosos ejemplos y posibilidades de aplicar los robots en la logística interna, algunos son: una flota de robots inteligentes para recogida, puesta en marcha y clasificación de mercancías (R & M, 2019).

Fabricar buenos productos es importante para el éxito de un fabricante, pero no es suficiente para ser rentable y mantener el negocio. Los costes de producción deben ser lo suficientemente bajos para un margen adecuado. Esto se puede lograr mejorando cada vez más la eficiencia de un sistema de fabricación. La automatización es vital para eso. Si los fabricantes quieren seguir siendo competitivos en un mercado en constante cambio, deben mejorar continuamente tanto los productos como los sistemas de producción. Por tanto, la puesta en marcha virtual es necesaria para actualizar continuamente un sistema de producción con inversiones incrementales.

Lo anterior requiere un entorno virtual (basado en computadora) que pueda simular una planta de fabricación (Ericsson.com, 2018). Además, los robots son cada vez más autónomos, flexibles y cooperativos, estos robots se utilizan para llevar a cabo métodos de producción con mayor precisión y también para trabajar en lugares en los que los humanos están restringidos (Vaidya et al., 2018).

### **5.1.1. Aplicación de Boston Dynamic (Stretch)**

Hay muchas operaciones de almacén que no se prestan a la automatización tradicional, puesto que existen tareas en las que las entradas y las salidas de un proceso no siempre están bien definidas y no pueden ser completamente controladas. Una nueva generación de robots con la inteligencia y flexibilidad para manejar la variación que las personas se toman con calma está entrando en los almacenes. Un ejemplo es Stretch (Rollo, 2022), un nuevo robot de Boston Dynamics que puede mover cajas pesadas a donde tienen que ir tan rápido como un trabajador de almacén.

El diseño de Stretch es algo que se aleja de los robots humanoides y cuadrúpedos. Con su único y enorme brazo, una pinza repleta de sensores y, una base móvil omnidireccional, Stretch puede transferir cajas que pesan hasta 23 kilogramos desde la parte trasera de un camión a una cinta transportadora a un ritmo de 800 cajas por hora. Un trabajador humano experimentado puede mover cajas a un ritmo similar, pero no durante todo el día, mientras que Stretch puede pasar 16 horas antes de recargarse.

*“La descarga de camiones es uno de los trabajos más duros en un almacén y es una de las razones por las que empezamos con Stretch”* dice Kevin Blankespoor, vicepresidente de robótica de almacenes en Boston Dynamics. Todo lo que Stretch necesita es que le muestren la parte trasera de un remolque lleno de cajas y se pondrá a trabajar de forma autónoma, colocando cada caja en una cinta transportadora una



por una hasta que el remolque este vacío. El personal sigue estando allí para asegurarse de que todo va sin problemas, y pueden intervenir si Stretch se encuentra con algo que no puede manejar. Además de descargar camiones, Stretch tiene el potencial de descargar cajas de los palés, colocar cajas en las estanterías, o construir pedidos a partir de diferentes lugares en un almacén. Boston Dynamics pasó gran parte de 2021 convirtiendo a Stretch en un prototipo, construido en gran parte de piezas diseñadas para Atlas y Spot (Rollo, 2022).



Ilustración 17. Ejemplo de aplicabilidad de robotización Stretch (Rollo, 2022)

### 5.1.2. Aplicación en Ericsson con Telecom

Otra de las aplicaciones de la robótica puede encontrarse en los trabajos de Ericsson con Telecom (Ericsson.com, 2018), Italia S.p.A y Comau, una empresa líder en el área de la automatización. Estas tres empresas exploraron las redes de baja latencia y el borde *cloud* para plantas de fabricación en una aplicación de prueba de concepto Ilustración 18.

Un controlador lógico programable (PLC) consiste en una célula de trabajo con dos robots y una cinta transportadora. El primer robot es un manipulador que coge un objeto y lo coloca delante del segundo robot, que emula la soldadura con una pistola. El objeto final es colocado por el manipulador en el transportador para enviarlo a la siguiente célula de trabajo. En este PLC se ha trasladado la lógica de control que acciona la estación de trabajo responsable de las acciones concurrentes de los dos robots y el transportador. Normalmente, residiría en un armario de control denominado PLC de la estación, pero en este PoC se ha trasladado a una plataforma en la nube. Trasladar una parte relevante del control a la nube permite la virtualización de aquellas funcionalidades que pueden ejecutarse como máquinas virtuales en hardware de propósito general.



Ilustración 18. Experimentación de la robótica en la nube en el laboratorio de automatización industrial de Comau en Turín (Italia) (Ericsson.com, 2018)

Algunas empresas podrán crear fábricas de “luces apagadas” en las que los robots automatizados continúan la producción sin luz ni calor después de que el personal se haya ido a casa. Además, los trabajadores humanos pueden ser utilizados más eficazmente para aquellas tareas que son realmente importantes (Bahrin et al., 2016).

## 5.2. Vehículo de guiado automático y Robot móvil autónomo

Los vehículos de guiado automático (AGV) se utilizan desde hace más de sesenta años en diversos ámbitos de la industria en los procesos de producción y en las instalaciones de almacenamiento. Un AGVS es un sistema de transporte industrial completamente automatizado y alimentado por baterías, es decir, son vehículos no tripulados basados en tecnologías de detección por sensores y video, inteligencia artificial y otras TIC (F. Espinosa et al., 2021).

El AGV se asocia al concepto de sistema de fabricación flexible y reconfigurable, al que contribuyen transportando cargas automáticamente y sustituyendo las tradicionales líneas de producción. La aplicación más relevante de los AGV en el entorno industrial es la relacionada con el almacenamiento y la logística. Aplicar esta tecnología en la logística interna permite disminuir los gastos de mano de obra, aumenta la fiabilidad, la productividad, la seguridad, aumento de la calidad del trabajo, reducen los riesgos de errores y daños humanos, entre otros (F. Espinosa et al., 2021).

El AGV es la primera solución de automatización implementada. Se define como un robot móvil que sigue marcadores o cables en el suelo, o utiliza la visión, los imanes o láseres para la navegación. Los AGV se utilizan tanto para el transporte interno como externo de materiales. Pero en el pasado, los AGV se utilizaban principalmente junto con la línea de fabricación interna, para proporcionar el material necesario durante el proceso de producción. Hoy en día, los AGV han ampliado el área de aplicación como a terminales de contenedores, almacenes y sistemas de transporte externos. Así, la utilización de los AGV ya no se limita a las plantas y procesos de fabricación (Ryck et al., 2020).



El AGV pueden transportar simultáneamente una o varias unidades de carga. Una unidad de carga se define como una serie de artículos que pueden ser manipulados como un solo objeto. Los dos tipos de transporte que dependen del tipo de unidad de carga que transportan son: (1) producción por lotes/ transporte por lotes, en el que se transportan varias unidades de carga a la vez, aumentando el plazo de entrega, pero reduciendo los costes de transporte, y (2) el flujo de una pieza, en el que se transporta una unidad de carga una sola vez.

Este tipo de transporte disminuye el tiempo de entrega, mientras que aumenta los costes de transporte (Torino & Vacca, 2018). El transporte de cargas pesadas incrementa el tamaño y el coste de los AGV, además la reutilización de AGV pesados para el transporte de cargas ligeras en industrias de alta variabilidad de flujos está muy limitada. Por otro lado, si los grandes AGV solo se utilizan para transportar cargas pesadas probablemente su porcentaje de utilización se bajó y no produzcan un rendimiento suficiente. Una solución a este problema es el transporte cooperativo de un objeto entre varios AGV. De esta forma, vehículos ligeros pueden utilizarse de forma óptima en el transporte de cargas pequeñas y/o ligeras, cooperando entre ellos cuando sea necesario transportar una carga grande y/o pesada. En algunas industrias existe una alta variabilidad en los tipos, dimensiones y pesos a transportar por los AGV, en este sentido se requiere que los AGV sean versátiles y puedan adaptarse a las tipologías de los flujos intralogísticos existentes (F. Espinosa et al., 2021).

En la actualidad, el mercado de los AGV está creciendo rápidamente y es muy dinámico. Según cita (Ryck et al., 2020), se pronostica que el periodo comprendido entre 2018 y 2025 se centra en las oportunidades de crecimiento potencial de los AGV, afirmando que el crecimiento futuro de los sistemas AGV está (a) causado por la aparición de sistemas de fabricación flexibles, (b) la creciente demanda de AGV personalizados y (c) la adopción de la automatización industrial por parte de las pequeñas empresas. Los sistemas AGV actuales son bien conocidos y están ampliamente en la fabricación, la medicina y la logística.

Por otro lado, se encuentra el AMR (*Autonomous Mobile Robot*) que es un robot portátil capaz de realizar tareas con un alto grado de autonomía. Este tipo de robot tiene cuatro características: auto mantenimiento, ya que evalúa su propio estado de forma que pueda trabajar durante un largo periodo sin ninguna intervención humana; detectar el entorno, ya que pueden obtener información sobre el entorno a través una gran cantidad de sensores; realización de tareas, evitando situaciones que sean perjudiciales para el entorno, las personas, la propiedad o incluso a sí mismo; y la navegación autónoma, lo que le permite moverse a través de su entorno operativo sin ninguna ayuda humana (Torino & Vacca, 2018).

Los AMR tienen muchas ventajas, como el sistema de navegación; pueden ampliar su área de utilización simplemente escaneando la nueva área al comienzo de su operación; sortean obstáculos gracias a sus sensores y su sistema de control. Los AGV, por otro lado, requieren de cierto tipo de "pista"; requieren información detallada del entorno; si se requiere expansión se debe invertir en la infraestructura.



Si se comparan los AGV y los AMR, los AMR presentan más ventajas como, por ejemplo: el sistema de navegación (los AGV necesitan de una pista mientras que los AMR no necesitan pista ya que están equipados con un sistema de navegación), la flexibilidad (los AMR pueden mapear fácilmente mientras que los AGV no), la capacidad de expansión (para ampliar la utilización de un sistema AGV se necesita una inversión adicional en infraestructura, mientras que los AMR pueden ampliar su área de utilización simplemente escaneando la nueva área al comienzo de la operación) y la intervención de obstáculos. En síntesis, los AMR presentan ventajas considerables en comparación con los AGV pero los AMR son siempre más caros (Torino & Vacca, 2018).

### 5.2.1. Aplicación de un AMR: Robot Móvil Omron

Un ejemplo de la aplicación de los AMR en la logística es el Robot Móvil Omron, Ilustración 19, que se define como un vehículo inteligente autónomo, dotado de navegación robusta, localización láser y sensores para detectar obstáculos en su trayectoria. Este AMR puede utilizarse para el transporte entre estaciones de trabajo o centros logísticos. El proceso puede definirse como un proceso lean ya que las entregas entre estaciones deben realizarse a un ritmo elevado, operando en un entorno local y con cantidades bajas en cada transporte (Torino & Vacca, 2018).



Ilustración 19. AMRS, Robot móvil Omron (Torino & Vacca, 2018)

### 5.2.2. Aplicación en Seat: AMRS EffiBOT

Otra aplicación de los AMR son los robots autónomos de Seat que se suman para mejorar la logística de producción. Son los AMR EffiBOT (Mercantil, 2021). Ilustración 20, que se adaptan a los procesos de producción y ayudan a los operarios en tareas como el transporte de cargas pesadas. Seat ha incorporado dos robots autónomos a su planta de Martorell (Barcelona) que tienen como objetivo adaptarse a los procesos de producción y gestionar de forma más eficiente los recursos y la comunicación entre las áreas.



Ilustración 20. AMRS EffiBOT del fabricante automovilístico Seat (Mercantil, 2021)

El fabricante automovilístico busca desarrollar y aplicar herramientas y soluciones digitales en la planta, convirtiéndose en el primero de su segmento en España al utilizar este tipo de robots. El vicepresidente Herbert Steiner menciona “*su incorporación contribuye a impulsar la industria 4.0 y a ser más eficientes, flexibles, ágiles y competitivos*”. EffiBOT, a partir de una lectura constante de 360 grados, es capaz de seguir a la persona que ha tocado su pantalla táctil en su desplazamiento por la fábrica, sin necesidad de que lleve ningún dispositivo encima, aunque se cruce con alguna persona u objeto en su camino detallo su fabricante (Efiidence) (Mercantil, 2021)

Los robots, que pueden transportar todo tipo de los materiales necesarios para el montaje de automóviles de hasta 250 kilogramos en carga y de 500 kilos en arrastre, han sido incorporados en fase experimental. En relación con ello, Seat ha adelantado que se podría ampliar su número en el futuro. A diferencia de los AGV, que requieren de una vía para funcionar, los AMR como EffiBOT pueden reconocer su entorno para establecer su propia ruta hacia el punto definido y esquivar obstáculos (Mercantil, 2021)

### 5.2.3. Aplicación en Amazon: KIVA

Otro ejemplo es Kiva (Torino & Vacca, 2018), AGV de Amazon que utiliza para sus centros de distribución. El Kiva Mobile-robotic Fulfillment System utiliza una gran cantidad de AGV. Este sistema cambia la definición de la disposición y construcción tradicional de los almacenes a un edificio de alta utilización de la superficie, fácil de operar y altamente flexible que se puede utilizar en cualquier parte del mundo. Los robots con forma de círculo naranja son el cuerpo de los AMR.

Un ordenador central les da instrucciones para que vayan a buscar las cápsulas de inventario (que se consideran estantes móviles). La instrucción incluye llevar los estantes a diferentes estaciones de trabajo como estaciones de *picking*, estaciones de embalaje y estaciones de reposición. Los AMR transfieren las cápsulas a su destino dentro de la red de pisos. Los puestos de trabajo son la zona de trabajo en la que los operarios se sitúan para realizar actividades como el *picking*, el embalaje o la reposición. En la Ilustración 21 se muestra un ejemplo de la disposición del sistema KIVA.

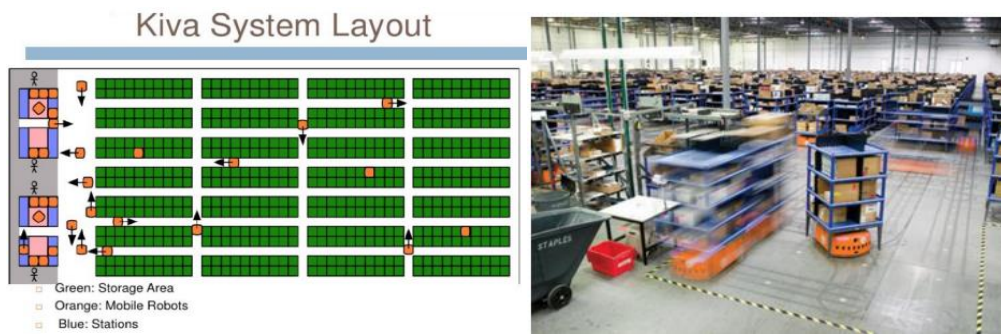


Ilustración 21. El Kiva Mobile-robotic Fulfillment System - Fuente: (Torino & Vacca, 2018)

La idea clave del sistema KIVA es construir un sistema de "bienes a personas" distinto del tradicional de "persona a mercancía". Se puede esperar las siguientes ventajas mientras se implementa el sistema KIVA: alta productividad en la preparación de pedido, aumento de la precisión de los pedidos, flexibilidad, reducir el tiempo de formación de la nueva mano de obra y reducir la demanda de mano de obra directa para las actividades de recepción, envío y *picking* (Mercantil, 2021).

### 5.3. Realidad aumentada

La realidad aumentada (AR, *Augmented Reality*) permite eliminar las fronteras entre el mundo físico y el digital, proporcionando a los usuarios una visión de la realidad ampliada por la información del mundo digital. Las capas digitales de información se muestran en el dispositivo, creando una imagen de la realidad ampliada para el usuario. Los dispositivos pueden ser gafas, tabletas, ordenadores portátiles, teléfonos móviles y similares.

La realidad aumentada proporciona la información correcta en el momento y lugar adecuados. Algunas aplicaciones de la realidad aumentada en la logística interna pueden ser la aplicación de las gafas inteligentes en los almacenes para las operaciones de recogida, clasificación y embalaje, manejo inteligente de carretillas y vehículos, entrega inteligente de mercancías al área de producción, ..., entre otros (R & M, 2019).

(Efthymiou & Ponis, 2021) describen la realidad aumentada como “*una visión del mundo físico tal y como existe realmente, pero en la que los elementos son mejorados por el ordenador, como el sonido, video, gráficos, superposiciones de GPS y mucho más*”. Los campos de la realidad virtual son interdisciplinarios. Para funcionar, un sistema de realidad aumentada debe incluir una cámara capaz de seguir el movimiento del usuario para fusionar los objetos virtuales y una pantalla visual, como unas gafas, a través de la cual el usuario pueda ver los objetos virtuales superpuestos al mundo físico.

La realidad aumentada aprovecha las capacidades de visualización, sonido, texto y efectos generados por el ordenador para mejorar la experiencia del usuario en el mundo real a través de equipos portátiles. En los entornos de producción y logística, el uso de pantallas en la cabeza ayuda a los trabajadores en tareas cotidianas, como





el montaje de piezas, la preparación de pedidos y el mantenimiento. Actualmente una realidad empresarial con un número creciente de aplicaciones y un importante potencial de ampliación (Efthymiou & Ponis, 2021).

En logística, la RA se está utilizando sobre todo en la gestión de almacenes para mejorar la selección, control de calidad y procesos de embalaje de productos, que son tareas rutinarias que suponen una cantidad considerable de tiempo y costes. El uso de la RA podría reducir drásticamente los costes y los errores (por ejemplo, los errores de embalaje que retrasan las entregas o dan lugar a devoluciones de productos) mejorando los plazos de entrega (Pérez, 2019).

Una ventaja que aporta la realidad aumentada en las industrias es en cuanto a la formación de los empleados, puesto que es una técnica más intuitiva que las escritas en un manual, ya que puede mostrar directamente al individuo cómo y dónde debe hacer las tareas. Gracias a ello, se acortan los tiempos de aprendizaje porque la persona instruida solo tiene que ver las instrucciones mostradas en la pantalla de las gafas AR. Otro beneficio se da en los almacenes, ya que el empleo de un sistema de realidad aumentada sirve de apoyo a los trabajadores a la hora de realizar las operaciones de *picking*. Un ejemplo es usar gafas de realidad aumentada para que el operario pueda ver una lista digital incluyendo la mejor ruta para recolectar los materiales reduciendo el tiempo de viaje gracias a la planificación de la ruta más eficiente (Martínez, 2019).

### 5.3.1. Aplicación de DHL con Ricoh: Vision Picking

La tecnología de realidad aumentada, popularizada inicialmente por los videojuegos, se ha extendido para ser utilizada en el desarrollo, la distribución y suministro de las empresas. DHL desplegó un programa de *picking* por visión con el cliente Ricoh que demostró un 25% de aumento del rendimiento en la preparación de pedidos cuando se utilizan gafas inteligentes. El programa (*Vision Picking*) consiste en que los recolectores estén equipados con gafas inteligentes, permitiendo liberar las manos de los operarios durante las actividades de *picking*. La lista de *picking* digital se presenta en la línea de visión de cada trabajador y junto con la mejor ruta para recoger el artículo, permitiendo que la preparación de pedidos se realice a un ritmo más rápido junto con tasas de error reducidas (DHL, 2019).

Las pruebas de campo que DHL ha realizado en su almacén con estos sistemas de AR han demostrado que mejoran significativamente la productividad en las operaciones de almacenaje. Los errores se reducen en un 40% gracias a la validación constante del *picking*. El error de *picking* hoy en día es muy bajo, pero los costes para arreglar un error son enormes, por lo que merece la pena cualquier enfoque posible para reducir el error hasta cero. Desde la prueba, DHL y sus socios Google, Vuzix y Ubimax han refinado la solución de selección de visión y DHL ahora está expandiendo el programa a diferentes sectores de la industria a escala global, forjando otro paso adelante para las soluciones de realidad aumentada en logística (DHL, 2019).



John Gilbert, CEO de *Supply Chain* en DHL dijo "Estamos entusiasmados de probar y desarrollar aún más la selección de visión como una solución que puede estar disponible para nuestros clientes. Más importante aún, esta tecnología no es solo un paso hacia la digitalización de los procesos manuales en el taller, sino que también nos acerca un paso más hacia la Industria 4.0. Probar tecnologías como la realidad aumentada, la robótica y el Internet de las cosas seguirá siendo una gran parte de nuestro ADN" (DHL, 2019).

### 5.3.2. Aplicación en IKEA

Otro caso de éxito de la AR en la industria es IKEA (IKEA, 2018): "*Realidad aumentada para reducir la incertidumbre en las decisiones de compra*". Cuando los clientes compran en línea existe un inconveniente: los consumidores no pueden examinar el producto físicamente antes de comprarlo. Es por ello por lo que las tasas de devolución de los productos son altas en comparación con las tiendas físicas. La realidad aumentada puede ofrecer una solución a este problema. Las aplicaciones interactivas pueden usar AR para facilitar a los clientes una impresión más completa del producto.

Ikea Place es una aplicación que incluye una gran variedad muebles, sofás, sillones y taburetes en 3D a escala para que se pueda ver gracias a la realidad aumentada cómo quedaría la casa, mostrando el tamaño que ocuparía cada producto. El objetivo es permitir a los usuarios probar muebles en su hogar a través de su teléfono, ordenador, tableta, etc., antes de comprarlo, mejorando la experiencia y satisfacción del cliente siendo menos probable que los clientes devuelvan el producto ya que lo han analizado mejor (IKEA, 2018).

### 5.4. Impresión en 3D

Con la industria 4.0, los métodos de fabricación aditiva (AM, *Additive Manufacturing*) se utilizarán ampliamente para producir pequeños lotes de productos personalizados que ofrecen ventajas de construcción, como diseños complejos y ligeros (Vaidya et al., 2018). Los sistemas de fabricación aditiva reducirán las distancias de transporte y el stock disponible. La producción debería ser más rápida y barata. Algunos métodos de fabricación aditiva son: la impresión 3D, la deposición fundida, la fusión selectiva por láser y el sinterizado selectivo por láser.

Estos métodos ayudan a enfrentar el reto de la personalización que buscan los clientes ya que, como las necesidades de estos están cambiando continuamente, muchas empresas buscar aumentar la individualización de los productos y reducir el tiempo de comercialización. Por ejemplo, los coches de un mismo modelo se ofrecen con muchas variaciones de motor, carrocería y equipamiento; todo para satisfacer mejor las necesidades de unos clientes cada vez más informados y exigentes (Vaidya et al., 2018).

Según (Horenberg, 2017) la inversión privada en esta tecnología se concentra en Estados Unidos con un 39% del mercado mundial, seguido de Asia y el Pacífico



con un 29% y Europa con un 38%. La impresión 3D, como se mencionó, es un método de la fabricación aditiva que se refiere a la producción de objetos en tercera dimensión mediante modelos virtuales. Aunque el uso que se le da en la industria es muy poco, esta logrará eliminar desventajas que se presentan en la producción de productos personalizados, como la poca flexibilidad a los cambios y los elevados costes, permitiendo la creación de prototipos y una fabricación descentralizada.

La impresión 3D ha comenzado a aplicarse en diversos campos, desde la industria farmacéutica y la producción de dispositivos médicos hasta la producción de repuestos y piezas de aviones. La impresión 3D está teniendo un impacto considerable en los procesos y servicios logísticos (R & M, 2019). Para imprimir un objeto en 3D primero se debe crear un modelo digital y luego se imprime como un objeto tridimensional. Los materiales que se utilizan para imprimir los objetos están en forma líquida o de partículas, lo que significa que en la impresión 3D solo se añaden materiales para crear el objeto final (Efthymiou & Ponis, 2021).

Otra definición es la descrita por (Horenberg, 2017) como “un proceso de unión de materiales para fabricar objetos a partir de datos de modelos 3D, normalmente capa sobre capa, en contraposición a las metodologías de la fabricación sustractiva”; por tanto, la impresión 3D permite la impresión de un producto, sobre la base de un plano 3D. Esta forma de producción conlleva varias ventajas, como la reducción del tiempo de comercialización, la reducción de los residuos, la mejora del mantenimiento, la reducción de las existencias y minimización de los costes de producción.

Con esta tecnología se han producido varios avances; por ejemplo, se ha aumentado la calidad de las salidas y la velocidad de impresión. Otro avance es el aumento de materiales y proveedores para el uso de la impresión 3D. La nueva generación de ingenieros está mejor formada en la nueva tecnología, lo que se traduce en una mano de obra con más conocimientos sobre la impresión 3D. Debido a todas estas mejoras, las empresas están más interesada en la impresión 3D y todas sus posibilidades (Horenberg, 2017).

La impresión 3D puede desempeñar un papel viable para acortar los tiempos de comercialización de un producto. En la fabricación tradicional las empresas tienden a externalizar su producción a países con bajos costes laborales; con la impresión 3D las empresas son capaces de producir cerca de su mercado de consumo, que a menudo se encuentra en los países con salarios altos. Esta reducción de kilómetros tiene como resultado que se reduzca el envío de mercancías a larga distancia y aumenten los centros de producción locales de impresión 3D.

Otro escenario posible para la industria logística es la introducción de centros de producción móviles. Gracias a las tecnologías alternativas de energía y estabilización los contenedores de los actuales vehículos de transporte (camiones, trenes o aviones) podrían transformarse en instalaciones de impresión móviles. Durante el transporte, la instalación de impresión 3D dentro del contenedor podría producir el producto personalizado, demandado por el cliente. Estas plantas de producción móviles son capaces de producir diferentes tipos de productos, si se les



proporciona el plano del producto y los materiales, reduciendo los plazos de entrega y aumentando la flexibilidad y agilidad (Horenberg, 2017).

Otro beneficio de la impresión 3D es la reducción del espacio de almacenamiento. Las organizaciones suelen estar obligadas a proporcionar a los clientes piezas de repuesto para los productos vendidos. Esto conduce a un gran uso del espacio de inventario de repuestos que normalmente no se necesitan o tienen una vida útil limitada. Gracias a la impresión 3D estas piezas de repuesto pueden almacenarse digitalmente e imprimirse si se necesitan. De este modo, se reducen los inventarios en los almacenes significativamente.

Por ejemplo, en la fabricación de automóviles, podría cambiar el modelo de funcionamiento al acortar la cadena de suministro de valor y permitir la producción de objetos directamente en las fábricas o en las cercanías, ahorrando tiempo y costes de transporte y proporcionando también un mayor flexibilidad en producción en respuesta a los cambios en la demanda o los gustos de los clientes (Pérez, 2019).

#### **5.4.1. Aplicación en Panalpina y DHL**

Según la investigación de (Horenberg, 2017), los dos principales innovadores logísticos en tendencias de impresión 3D son DHL y Panalpina. DHL identifica el potencial de la impresión 3D en su investigación de tendencias y reconoce “su capacidad para simplificar la producción de productos y piezas de recambio”. Con el uso de la impresión 3D, DHL busca beneficiarse de ventajas como “mayor personalización, menos residuos, fabricación y entregas más rápidas”. DHL describe las posibles implementaciones y comienza con el uso de un “almacén virtual” en el que las piezas de recambio no se almacenan físicamente sino solo su plantilla digital, que puede producirse a petición del cliente, traduciéndose en menores costes de inventario y en que no hay que deshacerse de la mercancía caducada.

Una segunda opción es utilizar los centros de distribución y almacenes como pequeñas fábricas para producir productos personalizados. En este caso, el montaje final del producto se realiza en el centro de distribución más cercano. Panalpina reconoce las ventajas de la impresión 3D, sobre todo en las últimas etapas de la cadena de suministro, y se centra en la creación de centros de *manufacturing services* (LMS) *hubs*. Su visión es transformar sus almacenes en centros que pueden producirse y enviarse productos en un breve plazo de tiempo (Horenberg, 2017).

#### **5.4.2. Aplicación en Galletas Gullón**

Otro caso de éxito es en la empresa Galletas Gullón (Sinovac, 2022), uno de los mayores fabricantes de galletas en Europa. El grupo no ha dudado en incorporar las tecnologías 3D a su cadena de producción con el fin de minimizar las paradas en las líneas de fabricación. Para hacer frente al elevado volumen de producción la compañía se interesó por la tecnología de la impresión 3D para buscar la forma de hacer su cadena más eficiente. Las paradas son uno de los contratiempos más caros para las empresas, así que en galletas Gullón se plantearon comenzar a fabricar repuestos para su maquinaria industrial en 3D.



El objetivo era lograr piezas más duraderas, flexibles y resistentes que aguantaran el ritmo y pusiera fin a la elevada rotación en las naves. La solución fue utilizar material TPU (poliuretano termoplástico) para imprimir piezas en 3D. Las roturas en los dedos de los arrastradores de las bandejas de galletas (Ilustración 22) obligaban a parar la producción de galletas. Los dedos permiten mover las bandejas a través de las distintas zonas de la fábrica. Estas piezas solían ser de plástico y tener un coste de reposición de 4,37 euros cada una. En ocasiones, si un robot se paraba sobre una de ellas podía llegar a romper varias. Una máquina puede contar con 300 de estos dedos y Gullón cuenta con más de 40 líneas en sus dos fábricas, por lo que el problema se repetía en miles de dedos.



Ilustración 22. Arrastradores de las bandejas de galletas (Sinovac, 2022)

En la empresa comenzaron a fabricar sus propios dedos para los arrastradores de galletas con TPU, un material más flexible y resistente que el plástico, en la impresora 3D que su director decidió comprar. El resultado de esta implementación fue un gran ahorro y lograr producir sin pausa. Además, en galletas Gullón ya no necesitan un stock de caras piezas fabricadas en fresadoras o tornos que, en ocasiones, no se ajustaban a sus necesidades. Ahora, cada dedo se imprime en una hora a un coste de 1,08 euros y, gracias a su flexibilidad, no se rompen (Sinovac, 2022).

## 5.5. Simulación y gemelos digitales

Según (Rodič, 2017), el modelado de simulación es el método en el que se utilizan modelos de un sistema o proceso real o previsto para comprender y predecir mejor el comportamiento del sistema modelado. La simulación es una técnica muy utilizada para abordar retos tanto en la industria manufacturera como en la logística y tiene un gran potencial para mejorar la producción en organizaciones de tamaño medio y grande (Enrique Ruiz, Matias Urenda, 2017). El modelado de la simulación suele ayudar a reducir los costes, acortar los ciclos de desarrollo y aumentar la calidad de los productos; por lo tanto, facilita en gran medida la gestión del conocimiento. Las empresas lo utilizan como un instrumento para la planificación operativa y estratégica.

La tecnología de simulación tridimensional se ha aplicado bien en el proceso de producción. El proceso de simulación tradicional en la fábrica suele consistir en la construcción de un modelo lógico para el sistema, que representa la secuencia y la lógica a través de las actividades del sistema. La salida de diferentes entradas se



prueba y se simula con el modelo lógico. Basándose en este modelo lógico, se construye un modelo virtual más tangible del comportamiento del sistema. Según cita (Torino & Vacca, 2018), quien propuso por primera vez la idea de gemelos digitales fue Michael Grieves en una presentación de la Universidad de Michigan sobre la gestión del ciclo de vida del producto en 2003. La NASA creó los primeros modelos digitales en 2011 como una forma de prever el rendimiento estructural de los aviones mediante la examinación y el diseño para simularlos como objetos visuales.

Un Gemelo Digital, según se indica en (Moshood et al., 2021), “es una representación única y virtual de una cosa física que controla y simula tanto el estado físico como el comportamiento del objeto”. La copia digital esta continuamente conectada al objeto o a los objetos físicos y se actualizan continuamente con datos en tiempo real para reflejar el estado actual del objeto o proceso físico. Una representación gráfica es la Ilustración 23.

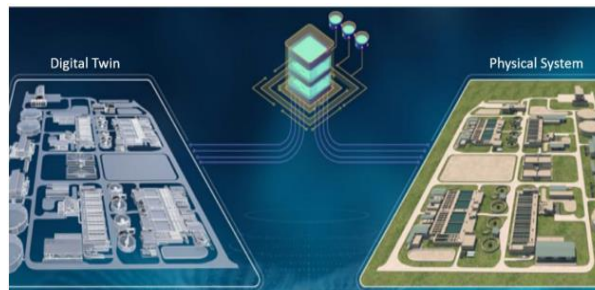


Ilustración 23. Representación de un modelo Digital (Moshood et al., 2021)

Con los gemelos digitales, los productos inicialmente se desarrollan y prueban con todo detalle en un entorno virtual. Después, producción puede utilizar la información generada y recopilada por las fases anteriores (Rodič, 2017). La combinación de los datos de la vida real con los modelos de simulación del diseño permite realizar predicciones precisas sobre la productividad y el mantenimiento basadas en los datos reales. Según cita (Efthymiou & Ponis, 2021), un modelo digital es “una réplica dinámica de un activo físico como un producto, una máquina, un servicio u otro activo intangible que modifica sus propiedades, estado y comportamiento a través de modelos, información y datos”.

El uso de la simulación y los gemelos digitales representa un enfoque favorable para apoyar el desarrollo, planificación y operación de sistemas industriales. Las técnicas de simulación basadas en el gemelo digital evalúan el rendimiento de los datos en tiempo real. La ventaja de hacer esto es que el proceso de prueba y optimización de la máquina para la siguiente producción en el modelo virtual pueden realizarse antes de cambiar la estructura física, lo que supone un ahorro de tiempo en la configuración de la máquina y una mejora de la calidad (Efthymiou & Ponis, 2021). La llegada de tecnología digital moderna influye positivamente en la visibilidad de la cadena de suministro.

Los gemelos digitales mejoran la rapidez con la que se reúnen los conocimientos sobre los procesos internos y externos, además de la rapidez con la que se puede procesar la información recopilada. Esta información se podrá utilizar



para mejorar la organización de los procesos internos y externos. La introducción de un gemelo digital es algo dinámico y que no requiere de muchos recursos para su puesta en marcha. Sin embargo, hay algunos problemas a la hora de implementar un gemelo digital, todos ellos basados en el mantenimiento de la exactitud técnica de los datos y, al mismo tiempo, reducir la cantidad de errores humanos (Moshood et al., 2021).

Los retos a los que se podrían enfrentar las organizaciones al implementar los modelos digitales serían (Moshood et al., 2021):

- la educación: los cambios técnicos en una organización conducen inevitablemente a estar capacitándose continuamente. Para aprovechar todos los beneficios de los gemelos digitales, se tendrá que hacer un cambio de estructura de los procesos de trabajo de la empresa.
- representación precisa: muchos procesos son muy complejos en varias industrias por lo que los desarrolladores de los gemelos digitales tendrán que tomar decisiones y simplificar algunos procedimientos.
- calidad de los datos: se tendrá que eliminar información poco fiable e incoherentes.
- fuerte inversión inicial, por lo que la decisión de implementar un modelo digital deberá pensarse muy bien.
- seguridad digital: un gemelo digital hackeado puede ser muy peligroso para las organizaciones.

#### **5.5.1. Caso de estudio. Gemelos digitales para la mejora de los AMR**

Para que los AGV o AMR se implanten en una empresa deben cumplir una serie de requisitos. Uno de los problemas a los que el uso de los gemelos digitales podría aportar algunas soluciones prometedoras es al “Prueba y validación de algoritmos de navegación en diferentes condiciones de funcionamiento del vehículo”. Lo anterior es muy atractivo para los proveedores como para los usuarios finales de los gemelos digitales. Las naves de producción suelen contener elementos de infraestructura (postes, rampas, escaleras) que pueden dificultar o impedir el movimiento de un robot, ya sea por su forma o por el tipo de su cinemática.

Las modificaciones de la infraestructura generan costes adicionales de implementación, a veces inviables (por ejemplo, no se pueden eliminar los elementos estructurales de un edificio o una fábrica). Por lo tanto, antes de que una empresa adquiera vehículos autónomos, se necesita un entorno de prueba/ensayo adecuado, que permita probar la tecnología desde la perspectiva de las condiciones específicas de la empresa. Si se realiza la prueba en el entorno real puede ocasionar dificultades porque pueden incluso detener la producción. Por esta razón, una solución alternativa a las pruebas en la vida real es el gemelo digital.

Este estudio de (Stączek et al., 2021) se realizó en la fase de implementación de un vehículo AMR autónomo en la nave de producción de una empresa. Antes de realizar pruebas con el robot real en la planta de producción, se utilizaron modelos digitales (gemelos digitales) del vehículo y de la planta de producción, junto con su



equipamiento. Se realizaron numerosas simulaciones por ordenador para probar, evaluar y mejorar los algoritmos de localización y navegación del robot y sus recorridos, los tiempos de ejecución de las tareas intralogísticas previstas, etc. El robot utilizado es el que se muestra en la Ilustración 24.



Ilustración 24. Robot móvil autónomo bajo el carro de transporte (Stączek et al., 2021)

La tarea del robot era ejecutar automáticamente las tareas de intralogística que se le asignaran en la tienda. Una parte del modelo digital se muestra en la Ilustración 25. El AMR solo podía moverse por corredores seguros entre las zonas marcadas con la línea amarilla en el suelo.



Ilustración 25. Vista del gemelo digital de la nave industrial real (Stączek et al., 2021)

Las simulaciones por ordenador con los gemelos digitales del vehículo AMR y la nave de producción se llevaron a cabo con el software Gazebo, que es un entorno dedicado a la simulación y visualización de alta calidad de modelos de sistemas robóticos y su entorno. La Ilustración 26 muestra una visualización de un fragmento del gemelo digital de la planta de producción creado en el entorno de simulación Gazebo. El modelo incorpora elementos fijos (paredes, columnas, estanterías, transportadores de rodillos, cajas-paletas en zonas de almacenamiento y las figuras de empleados).



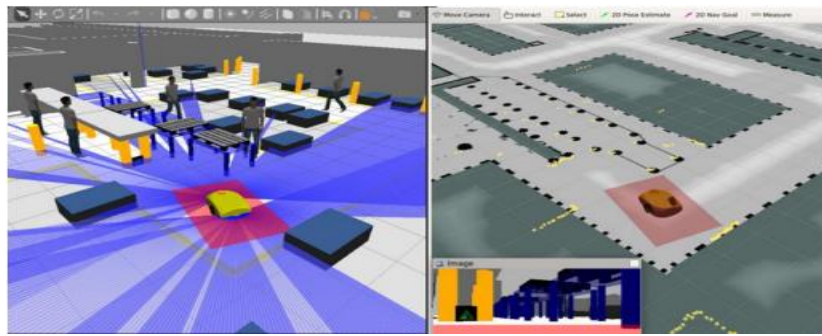


Ilustración 26. Visualización del gemelo digital del AMRS real en el simulador Gazebo (Stączek et al., 2021)

Los algoritmos de control, localización y navegación del vehículo intercambian información con los sensores del robot real y los controladores de accionamiento a través de mecanismos de comunicación implementados. Los gemelos digitales del AMR y su entorno operativo descritos en este estudio se utilizaron ampliamente durante el desarrollo, la mejora y las pruebas de los sistemas de localización y navegación del robot.

Del estudio se extrajeron varias conclusiones. En primer lugar, el uso de los gemelos digitales aceleró el desarrollo de los algoritmos de localización y navegación del AMR en diversas condiciones de funcionamiento, al tiempo que redujeron los costes de prueba y validación de estos. Las simulaciones por ordenador, realizadas con el uso de un gemelo digital, permitieron mejorar la forma de la ruta de comunicación del AMR; como resultado, el tiempo que el robot necesitaba para completar su tarea intralogística se redujo a la mitad. Se presentó una solución que solo requería una ligera modificación del corredor. No solo se redujo el tiempo de desplazamiento del robot, sino también el tiempo de implementación del sistema. El estudio del caso confirmó que el uso de un gemelo digital aportó los beneficios esperados.

### 5.5.2. Diseño e implementación de un modelo ciberfísico universal y un gemelo digital mediante el uso de sensores de color

Un caso de estudio de los gemelos digitales es el que se presenta en (Vachálek et al., 2021). Este trabajo aborda el diseño e implementación de un modelo ciberfísico universal capaz de simular cualquier proceso productivo para optimizar sus sistemas logísticos. Dado que el gemelo digital requiere una conexión física con una línea para su funcionamiento, esta conexión se sustituye por un sistema ciber físico modular, que reproduce las mismas entradas y salidas físicas que una línea de producción real. En las instalaciones de producción, se tiende a optimizar los sistemas logísticos para aumentar la eficacia y reducir los tiempos muertos.

Las técnicas de virtualización en forma de gemelo digital se utilizan habitualmente para este fin. El modelo reproduce físicamente las condiciones reales de la producción simulada y verifica por adelantado la calidad de los cambios de



optimización propuestos virtualmente por el gemelo digital. La simulación es de un puesto de trabajo de montaje robotizado y su logística. Esta investigación se centró en la fabricación digital y el IoT, que permiten optimizar las líneas de producción existentes o planificadas utilizando un gemelo digital.

El gemelo digital es capaz de demostrar el impacto de diversos cambios planificados. De este modo, reduce los costes y el tiempo de inactividad del proceso cuando no es necesario implementar cada escenario propuesto. En su lugar, solo se despliegan las soluciones óptimas. En este caso, se utilizó un gemelo digital para controlar el proceso logístico. El modelo presentado en la investigación presentaba las siguientes condiciones: el modelo es universal capaz de simular cualquier línea de producción; es portátil para la presentación a los clientes; es modular, sencillo y fácilmente ampliable a nuevos puestos de trabajo.

Además de los requisitos básicos mencionados anteriormente, tuvieron que resolver el problema básico de la colocación de los sensores en el modelo, que tienen un impacto importante en la precisión de simulaciones del modelo físico. En el control de un sistema logístico es necesario recibir de antemano información de los centros de trabajo sobre la cantidad de material consumido. A partir de esta información, el sistema de control puede evaluar la necesidad de un pedido de materiales adicionales en el lugar de trabajo y asignarle una prioridad. Un factor clave que influye en la obtención de información anticipada es la ubicación de los sensores en el proceso de producción. Como los puestos de trabajo del proceso de producción están separados, lo más sencillo es colocar sensores en cada puesto de trabajo. De este modo, se garantiza la obtención de datos actuales después de cada operación en el puesto de trabajo.

El objetivo de investigación fue presentar el concepto de conexión de un gemelo digital con un sistema ciber físico real, sustituyendo por completo la necesidad de realizar pruebas en la producción real. Basándose en estos requisitos, se creó un sistema CPS que modelizaba físicamente una línea de producción real. Para la mejora, el gemelo digital necesita entradas físicas reales (la conexión entre el mundo físico y el virtual, Ilustración 27, proviene de la identificación de los componentes fabricados mediante un sensor de color en producción) en base a las cuales se utiliza un algoritmo seleccionado para recalculer el suministro óptimo de puestos de trabajo.

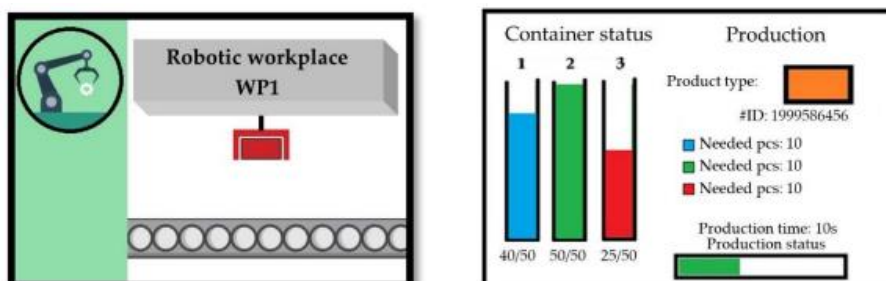


Ilustración 27. Visualización del puesto de trabajo robótico y visualización del estado de la producción en la pantalla (Vachálek et al., 2021).



Los puestos de trabajo responden a la mejora de la logística aumentando la productividad y reduciendo el consumo de energía y los costes de producción. Se utilizaron seis combinaciones de colores diferentes para simular seis productos distintos, ya que actualmente se prefiere la producción flexible con diferentes variaciones de productos. A cada producto se le asignaron diferentes configuraciones de consumo de material y diferentes tiempos de producción.

### 5.5.3. Aplicación en General Electric

Los modelos de simulación y los gemelos digitales ya se utilizan en la industria con excelentes resultados. General Electric, por ejemplo, ha creado varios gemelos digitales para empresas que lo utilizan para comprender, predecir y mejorar el rendimiento con la finalidad de lograr mejores resultados en la industria. Los beneficios de los gemelos digitales son el aumento de la fiabilidad y la disponibilidad, la reducción del riesgo, la disminución de los costes de mantenimiento, la mejora de la producción y el retorno más rápido de la inversión. Algunos de los resultados y cifras habilitados por General Electric sobre los gemelos digitales son el aumento del 93% al 99,49% de la fiabilidad en menos de dos años de implantación; reducción del 75% del tiempo para lograr resultados, ..., entre otros (Electric, 2019).

### 5.6. RFID

Hoy en día las tecnologías inalámbricas de próxima generación difieren en términos de velocidad, capacidad, requisitos de potencia y, uno de los diferenciadores, el alcance; este último se puede apreciar en la Ilustración 28.

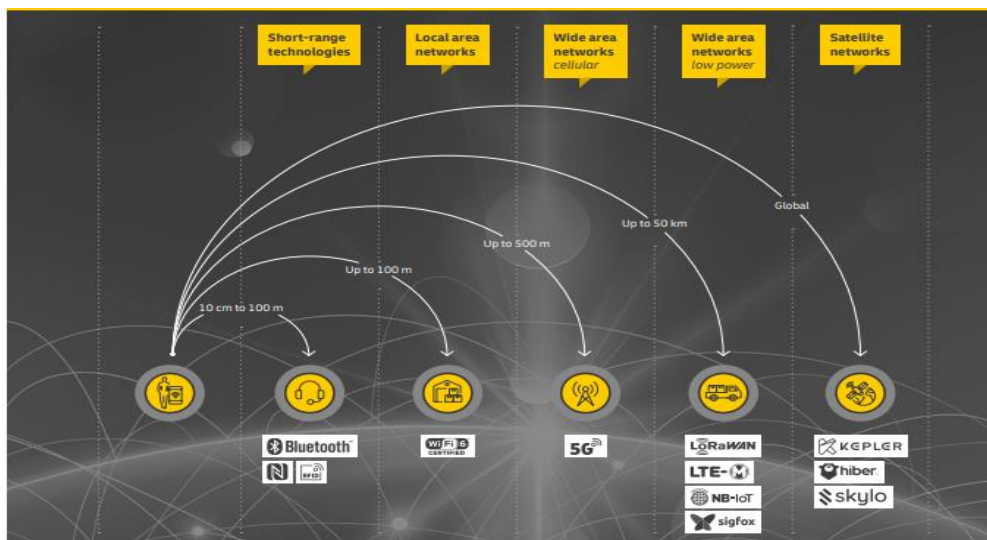


Ilustración 28. Alcance de las tecnologías inalámbricas (Heuter & Kueckelhaus, 2020)

Pueden clasificarse en los siguientes grandes grupos:

- Primero, tecnologías de red de corto alcance como la identificación por *Radio Frequency Identification (RFID)*, la comunicación de campo cercano



(NFC) y *Bluetooth* conectan dispositivos a través de distancias de unos pocos milímetros a varias decenas de metros. Suelen utilizarse para la conectividad dentro de la misma habitación o entre diferentes partes de un mismo objeto más grande.

- Segundo, tecnologías de redes de área local como *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), *Light Fidelity* (Li-Fi) y la banda ultra ancha (UWB) que conectan dispositivos a través de distancias de pocos metros hasta algunos cientos de metros. Suele utilizarse para proporcionar cobertura en un área específica, como un hogar, una oficina, un almacén o una fábrica.
- Tercero, tecnologías de redes de gran alcance como 5G, Sigfox, LoRa, LTE-M y NB-IoT conectan dispositivos a través de distancias de cientos de metros hasta varios cientos de kilómetros.
- y cuarto, tecnologías de redes de área global, que incluyen satélites de órbita terrestre baja y satélites geoespaciales, que conectan dispositivos a través de grandes partes de la superficie terrestre.

La RFID se encarga de transmitir la información a través de ondas de radio, etiquetas y lectores para que la información recogida pase al *middleware* RFID para su procesamiento y uso. En aplicaciones comerciales La RFID ayuda a recopilar, gestionar y analizar datos dentro de los procesos de producción, almacenamiento y transporte de la cadena de suministro. Además, permite procesos de gestión de datos como el análisis de Big Data a través de la recopilación de cantidades masivas de información de las operaciones logísticas. Las tecnologías RFID mejoran la visibilidad y la trazabilidad de la información en tiempo real, identifican el nivel de inventario en las diferentes áreas de distribución de la cadena de suministro, y rastrean los movimientos de los productos. Además, la RFID convierte los recursos de producción y logística en objetos inteligentes capaces de captar información e interactuar y razonar para producir un entorno ubicuo (Cano et al., 2021).

Las tecnologías RFID están diseñadas para proporcionar bajo coste a las empresas con un alcance corto y compartir pequeñas cantidades de datos. Como su nombre lo indica, esta tecnología se utiliza normalmente para identificar objetos. Las aplicaciones más comunes son las tarjetas de acceso a edificios y servicios de transporte público, las etiquetas de seguridad de los productos y sistemas de tarjetas de pago sin contacto.

La RFID es en realidad una familia de tecnologías relacionadas y que utilizan diferentes frecuencias para proporcionar diferentes características de rendimiento. La mayoría de los sistemas RFID son pasivos: la etiqueta o tarjeta que contiene el chip RFID y la antena no tiene fuente de energía propia. En su lugar, recoge su energía de las ondas de radio transmitidas por el dispositivo de lectura. Las etiquetas activas, que contienen su propia batería, ofrecen mayores velocidades de datos y rangos de transmisión, pero a un mayor coste. La RFID es un protocolo de comunicación bidireccional; una etiqueta puede tanto enviar información a un lector como recibir información de este (Heuter & Kueckelhaus, 2020).

A pesar de su uso generalizado en otros ámbitos, los primeros intentos de introducir las etiquetas RFID en la logística fracasaron. La tecnología se anticipaba



como un gran avance en sustitución a la etiqueta de código de barras utilizada para identificar productos y envíos durante el transporte y almacenamiento. El objetivo del cambio era la mejora de la eficiencia ya que la información no solo sería bidireccional, sino también se podría leer a distancia sin necesidad de una línea de visión entre la etiqueta y el lector, y un solo lector podría recoger información de múltiples etiquetas. Este objetivo en la práctica nunca se cumplió más allá de muchas implementaciones.

Las etiquetas RFID, aunque económicas, no eran competitivas en cuanto a costes en comparación con las simples etiquetas impresas; además, carecían de normas y estándares globales y de sistemas heterogéneos. Hoy en día, hay un resurgimiento del interés por las nuevas aplicaciones de RFID gracias a etiquetas más baratas y fáciles de conseguir. Las aplicaciones emergentes de RFID tienden a implicar entornos bien controlados, con ventajas tales como la transferencia de datos sin necesidad de una conexión y la capacidad de realizar múltiples lecturas (Heuter & Kueckelhaus, 2020).

### **5.6.1. Aplicación. Caso de estudio de AGV que utilizan RFID**

En el artículo de (Mehami et al., 2018) muestra los vehículos de guiado automático en un escenario de fábrica real que utiliza etiquetas RFID para la identificación y el control de movimiento. Los AGV que se probaron se centraron en dos tipos: Karl y Jimmy. Estaban equipados con lectores RFID para detectar las etiquetas colocadas en el suelo o en el interior de los objetos.

El estudio se basa en la toma de decisiones inteligentes en el entorno de una fábrica. Por ello, se analizó el uso de RFID para crear un sistema AGV inteligente que sea flexible y reconfigurable en dicho entorno. La tecnología RFID se utilizó para guiar o controlar el movimiento de los AGV y para crear objetos conocidos como productos inteligentes. Los AGV (Karl y Jimmy) son robots con un brazo y una pinza que se usaban para transportar objetos. Los RFID llegaron en forma de etiquetas y se utilizaron para las decisiones por parte de los AGV. Se utilizaron dos frecuencias de etiquetas, las de 13,56 Mhz, que se utilizaron para el control de movimiento y se incrustaron en plástico transparente o en papel blanco, y las etiquetas de 125Khz, que se utilizaron para la identificación de objetos y se incrustaron en plástico negro.

Además, se hizo uso de componentes impresos en 3D que permitían una fácil personalización de los AGV aportando adaptabilidad y rentabilidad. El cuerpo principal de ambos AGV es fácilmente personalizable para adaptarse a cualquier fábrica. Los componentes personalizados para los AGV se diseñaron en CAD y luego se imprimieron en 3D; dichos componentes se muestran en la Ilustración 29, junto con un modelo de rodamiento en 3D para Karl. En la Ilustración 30 se puede ver terminado los AGV Jimmy y Karl con sus respectivo RFID y configuraciones.

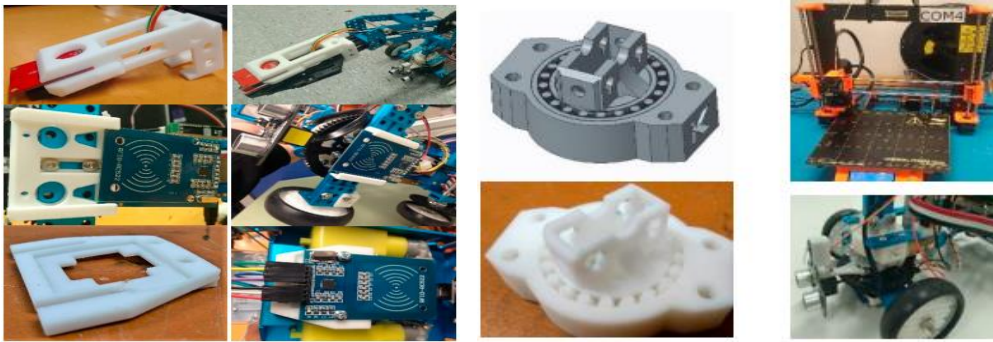


Ilustración 29. Montajes de lectores RFID para los AGV y rodamientos para Karl (Mehami et al., 2018)

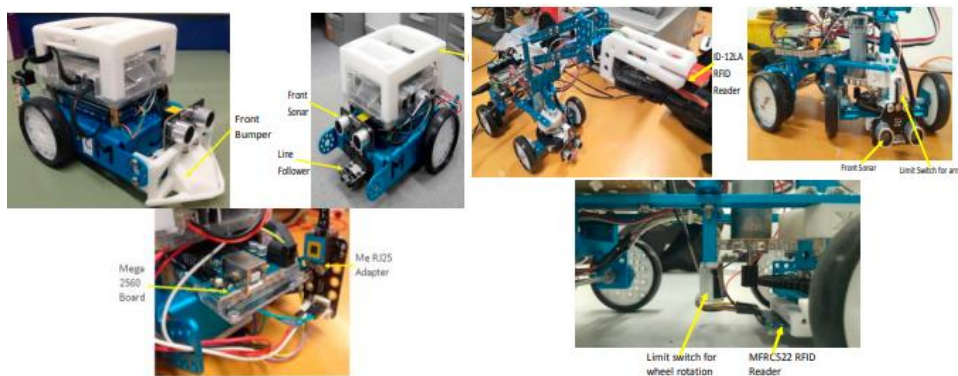


Ilustración 30. AGV Jimmy y Karl (Mehami et al., 2018)

Un Karl y tres AGV de Jimmy se llevaron a cabo en pistas separadas (véase la Ilustración 31). Cada AGV Jimmy tenía una ruta fija para recorrido en su pista, que replicó funciones de la cinta magnética que se utiliza en las fábricas reales. Por otro lado, Karl solo utilizó etiquetas RFID como guía, por lo que la pista se hizo pegando etiquetas RFID en un gran trozo de cartón. Las etiquetas se pegaron de forma que Karl tuviera la posibilidad de elegir entre dos caminos logrando entregar los productos inteligentes en diferentes lugares (los propios productos inteligentes determinaban el destino de Karl). Las etiquetas también se utilizaron para comprobar si un AGV se desplazaba por la ruta correcta.

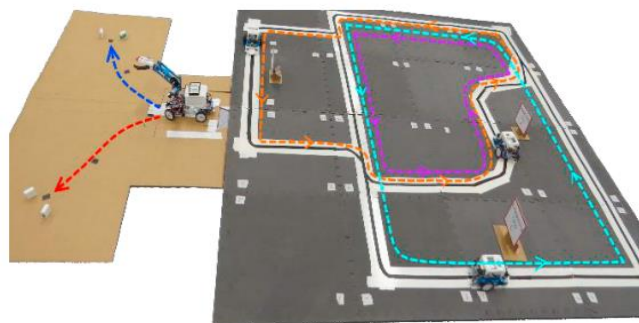


Ilustración 31. Escenario de fábrica completo de ambos AGV (Mehami et al., 2018)



Los robots utilizados en este estudio se configuraban para ser representaciones de AGV reales. Karl y Jimmy fueron empleados con éxito en un escenario de fábrica que imitaba las tareas de los AGV reales. La adición de etiquetas RFID no solo simplificó la toma de decisiones, sino que hizo que los AGV fueran más inteligentes. Un ejemplo de ello fue cuando los Jimmy pudieron determinar cuándo se salían de la pista mediante las etiquetas RFID. Las etiquetas RFID añadidas eran mucho más flexibles, podían retirarse fácilmente, desplazarse a nuevas ubicaciones, o podían reprogramarse para llevar a cabo diferentes maniobras cuando los AGV detectaran las etiquetas. La reprogramación de las etiquetas podría realizarse en tiempo real con la incorporación de la red. La configuración de la trayectoria utilizando únicamente etiquetas RFID era mucho más fácil y eficiente en comparación con el uso de cintas.

### **5.6.2. Aplicación en Lululemon**

El minorista de ropa Lululemon utiliza la tecnología RFID para proporcionar información sobre el inventario en la tienda a sus clientes (Wordl, 2017). La empresa ha aumentado la precisión del inventario al 98% logrando indicar a los clientes inmediatamente si el producto que desean está disponible en la tienda. El objetivo es hacer el seguimiento del inventario en varios puntos de la cadena, desde las plantas de fabricación hasta los almacenes de sus clientes.

Lululemon afirma que la precisión del inventario es fundamental para su objetivo principal, brindar la mejor experiencia al cliente con su marca. Con la implementación de una solución RFID aprovechan la visibilidad precisa del inventario en tiempo real y la capacidad de ubicar fácilmente los productos. Esto solo se puede lograr con la tecnología RFID. Lululemon aprecia que el RFID también ayuda a optimizar los procesos operativos de las tiendas.

Lululemon (Wordl, 2017) ha implementado la solución de visibilidad de inventario RFID TrueVUE de Tyco en cada una de sus 300 tiendas en América del Norte. Esta solución informa con precisión el inventario disponible en tiempo real por ubicación a sus trabajadores y clientes en las tiendas físicas, así como a sus compradores en línea. Cada artículo en la selección de productos tiene la visibilidad en un momento dado. Tener la mercancía disponible en cualquier momento y en cualquier lugar es esencial para mejorar la experiencia de los huéspedes de Lululemon e impulsa la iniciativa "compre en línea, recoja en la tienda" que los clientes realmente aprecian.

### **5.6.3. Aplicación del fabricante Cobots Fetch Robotics en asociación con Surgere**

El fabricante Cobots Fetch Robotics se ha asociado con Surgere (un proveedor) para construir TagSurveyor, un robot móvil autónomo con lectores RFID incorporados (Ilustración 32). Los robots hacen el seguimiento del inventario y el recuento de forma autónoma en entornos de grandes almacenes donde pueden recorrer los pasillos leyendo las etiquetas de productos en las estanterías sin necesidad de la intervención humana. Para el recuento de existencias 100% preciso,



todas las unidades de stock deben estar equipadas con una etiqueta RFID que sea legible dentro del alcance del robot (Heuter & Kueckelhaus, 2020).



Ilustración 32. Robots móviles autónomos con lectores RFID(Heuter & Kueckelhaus, 2020).

#### **5.6.4. Aplicación en DHL**

DHL ha implementado un sistema basado en RFID para ayudar al seguimiento de los equipos y dispositivos médicos en hospitales de gran actividad. Mediante una red de lectores, el sistema puede determinar la ubicación de un activo con una precisión de uno o dos metros, reduciendo el tiempo perdido en la búsqueda de equipos. Además, el personal del hospital puede utilizar un escáner de mano para indicar que un artículo está en uso, lo que garantiza que los compañeros se dirijan solo a los artículos que están disponibles (Heuter & Kueckelhaus, 2020).





## 6. Caso de estudio. Diagnóstico de la logística 4.0 en una empresa de alimentación en Zamora, España y propuesta de aplicación

### 6.1. Introducción

La logística interna es una parte muy importante de los procesos de producción de las fábricas. Áreas como almacenamiento, manipulación y suministro de materiales de entrada a las líneas de producción y puestos de trabajo son procesos clave en la empresa. La logística interna, como se ha mencionado en el capítulo 2 (*Gestión de la logística*), abarca la planificación, la ejecución, el flujo eficiente y el almacenamiento de materiales, productos semielaborados y productos acabados. Si se utiliza el concepto de industria 4.0 como base, la mayoría de las operaciones de almacén en el futuro estarán totalmente automatizadas desde la recepción de mercancías, el almacenamiento, el *picking* y el montaje de producción.

La estrategia de las empresas es hacia un futuro en el que tengamos una visión perfecta, no solo de dónde está una pieza en un momento dado, sino que también será necesario saber quién la tuvo en sus manos, dónde y cuándo se movió, porqué y si tuvo alguna observación. Esto no se puede lograr sin sistemas de información perfectos y tendrá que garantizarse no solo durante la producción, sino también durante las operaciones de almacenamiento, la entrega de material, o incluso durante el retorno de la producción hacia el almacén. Una visión completa de la información y la garantía de la trazabilidad de los componentes se realizará, por ejemplo, mediante el escaneo y etiquetado RFID, códigos QR o códigos de barras.



Por otro lado, según los autores (Zoubek & Simon, 2021a), una eficiente y potente logística 4.0 debe apoyarse y utilizar las siguientes aplicaciones tecnológicas: planificación de recursos, sistemas de gestión de almacenes, sistemas de gestión de transporte, sistemas inteligentes de transporte y seguridad de la información.

## 6.2. Diagnóstico de la logística 4.0 en una empresa de alimentos en Zamora, España.

La aplicación de los principios de la Industria 4.0 es específica y, para muchas empresas, exigente desde el punto de vista tecnológico, organizativo y financiero. Por lo tanto, las empresas deben conocer su nivel actual de procesos logísticos y evaluar la preparación de estos elementos para la automatización y la digitalización. La dirección de la empresa debe crear una estrategia que evalúe los procesos logísticos internos para la industria 4.0. Se necesita una evaluación objetiva con un sistema de varios niveles, por lo que se realizará en primer lugar una encuesta sobre el nivel de conocimiento sobre la logística 4.0, la Industria 4.0 y las soluciones que se han empleado en la empresa y, en segundo lugar, para que el diagnóstico sea mucho más completo se empleará un modelo de madurez (modelo de preparación) para la evaluación de la logística interna 4.0.

La empresa donde se realizará el diagnóstico es una empresa que centra su actividad en la fabricación y comercialización de platos preparados y congelados; en concreto, está especializada en la fabricación de calamares, rabas, empanadillas, precocinados cárnicos y pescados. Actualmente se está esforzando por mejorar sus procesos internos, aplicando varias herramientas como Lean, 5S, 5 porqués y, sobre todo, están involucrando la mejora continua en sus procesos e infundiendo esta cultura a sus empleados. Por todo lo anterior, es una empresa que está abierta a recibir propuestas de mejora. No se menciona el nombre por cuestiones de confidencialidad.

### 6.2.1. Diagnóstico de logística 4.0 mediante encuesta

Se definieron las preguntas para la encuesta, las cuales están enfocadas en diagnosticar a la empresa en temas de logística 4.0, industria 4.0, TIC, ..., entre otros, a fin de determinar, mediante el análisis de datos y respuestas, qué es lo que está pasando y cuáles son las soluciones logísticas que podría implementar la empresa de alimentación. A continuación, se presentan las preguntas que se realizaron.

- ¿Dispone de un proceso de *picking* automatizado?
- ¿Tiene un proceso automatizado de localización de mercancías en el almacén?
- ¿Tiene un proceso automatizado de transporte interno?
- ¿Utiliza sistemas de clase ERP como parte de la gestión empresarial?
- ¿Utiliza el sistema WMS?
- ¿Utiliza la tecnología RFID en sus operaciones?



- ¿Utiliza la tecnología RTLS (sistemas de localización en tiempo real) en sus operaciones?
- ¿Dispone de un flujo de datos integrado en la cadena de suministro y de la disponibilidad de estos datos en tiempo real?
- ¿Analiza los datos utilizando tecnologías avanzadas como parte de su negocio?
- ¿Conoce el término Big Data?
- ¿Cuántas tecnologías de Big Data utiliza en su empresa?
- ¿Utiliza software de computación en la nube en sus operaciones?
- ¿Los dispositivos de su empresa son capaces de recoger y procesar datos?
- ¿Su empresa planifica los procesos de transporte (por ejemplo, optimización de rutas o programación de entregas)?
- ¿Utiliza su empresa robots en algún tipo de operación logística?
- ¿Su empresa emplea el flujo de documentos electrónicos?
- ¿Cómo valora el nivel de desarrollo tecnológico de su empresa en comparación con otras empresas que conozca?
- ¿Emplea los principios del Just in Time / Lean Manufacturing en sus procesos?
- ¿Conoces el término Internet de las cosas o Internet de los servicios?
- ¿En cuántas áreas introduce innovaciones?
- ¿Conoce el término Logística 4? ¿o Industria 4.0?
- ¿Cree que la tecnología es relevante para su empresa?
- ¿En qué fase situaría a la empresa en el proceso de adopción de la tecnología?
- Indique si tiene previsto realizar alguna inversión para la implantación y uso de la tecnología.

Esta encuesta se aplicó mediante forms, una herramienta de MS Office 365. Los trabajadores implicados en los procesos de logística interna a las que se les realizó la encuesta solo tenían que acceder y responder la encuesta. Para mayor detalle del diseño de la encuesta remitirse al **anexo I**.

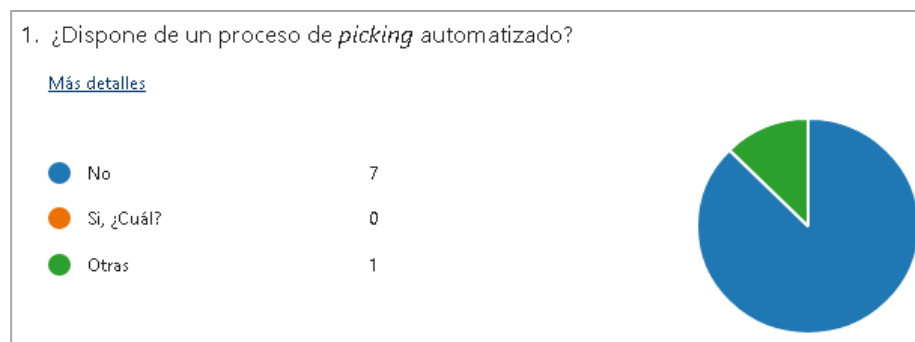


Ilustración 33. Pregunta uno de la encuesta

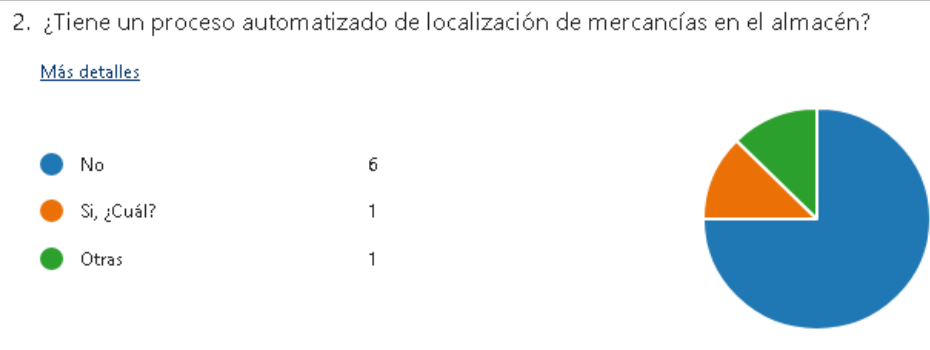


Ilustración 34. Pregunta dos de la encuesta

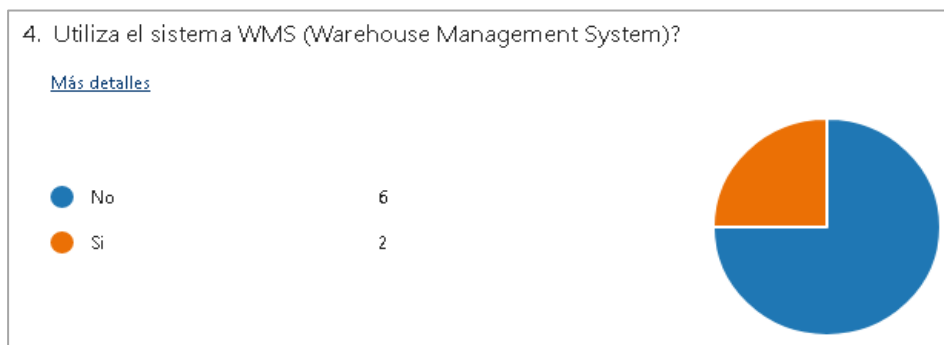


Ilustración 35. Pregunta cuatro de la encuesta

El color azul corresponde a la respuesta no. Como se puede observar en las Ilustración 33; Ilustración 34; e Ilustración 35 la empresa en su gran mayoría de procesos internos no aplica las tecnologías de la industria 4.0.

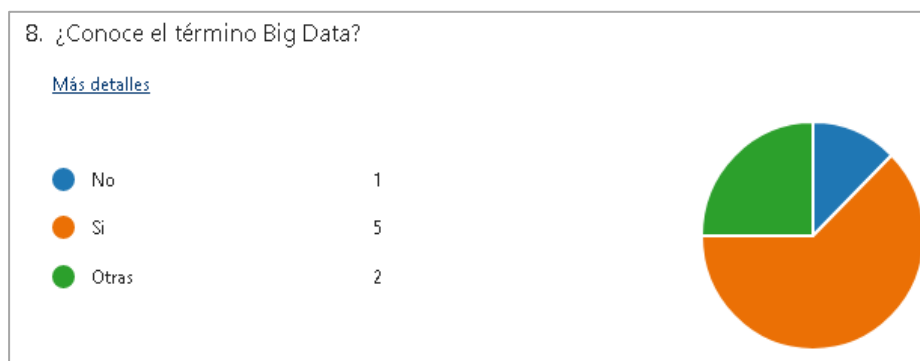


Ilustración 36. Pregunta ocho de la encuesta

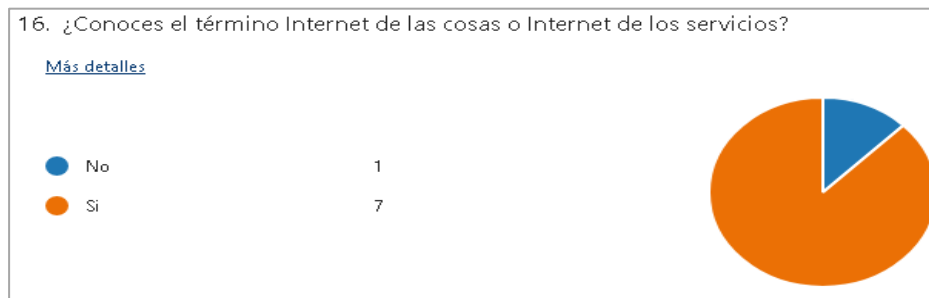


Ilustración 37. Pregunta 16 de la encuesta

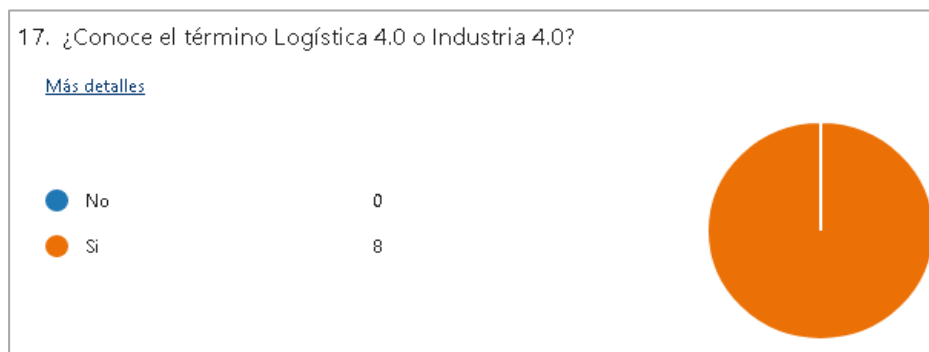


Ilustración 38. Pregunta 37 de la encuesta

Las Ilustración 36; Ilustración 37 e Ilustración 38, permiten concluir que el personal de la empresa ha escuchado y reconoce los términos de la industria 4.0. Para ver a detalle las preguntas realizadas al personal de la empresa involucrado en los procesos de logística interna consulte el siguiente enlace:

[https://forms.office.com/Pages/DesignPageV2.aspx?origin=NeoPortalPage&subpage=design&id=rOBSzPiXMEyCPjy\\_U4m\\_75Y0Z4-3yGVOtZVt3ZJ6yp5UQURaQTRUUVc3UTNSQIBFVEdLRUFUU0tXWS4u&analysis=false](https://forms.office.com/Pages/DesignPageV2.aspx?origin=NeoPortalPage&subpage=design&id=rOBSzPiXMEyCPjy_U4m_75Y0Z4-3yGVOtZVt3ZJ6yp5UQURaQTRUUVc3UTNSQIBFVEdLRUFUU0tXWS4u&analysis=false)

### 6.2.2. Diagnostico mediante la aplicación de un modelo de madurez

Los modelos de madurez se definen según (Zoubek & Simon, 2021b) como una herramienta que permite identificar y evaluar el estado actual de preparación de las empresas en varias áreas, además de buscar el potencial de mejora ayudando a la futura implementación de las tecnologías de la industria 4.0. Los tres parámetros principales del modelo a aplicar son las dimensiones (áreas de la logística interna); los subdimensiones (como el área de la logística interna es extensa se dividen en subáreas); y niveles (grado de preparación para la industria 4.0 en orden ascendente (de más bajo al más alto)).

El modelo de madurez utilizado fue el desarrollado y aplicado por (Zoubek & Simon, 2021b) y por (Facchini et al., 2020). Modelo que se basa en hallazgos



relacionados con auditorías realizadas por los autores, modelos de madurez, logística interna, la industria 4.0, estudios y evaluaciones de la literatura disponible, herramientas actuales y opiniones de los expertos que se ocupan de este campo. El modelo se desarrolla con la observación del entorno real en una empresa de alimentación en Zamora, centrándose en los procesos logísticos internos. Este modelo permite medir la madurez de la empresa identificando el estado actual y la preparación de la empresa para la industria 4.0.

Ya que esta investigación se orientó en la logística interna, el modelo a aplicar solo evaluará los procesos que se contemplan en ella. Este modelo dotará a la empresa con conocimientos prácticos sobre: ¿qué es la industria 4.0? ¿cuáles son los beneficios tangibles que puede aportar? ¿cuál es el nivel de preparación de la empresa y de las subáreas? ¿cómo puede la empresa mejorar gradual y decididamente aumentando su nivel?, etc.

Los niveles suelen definirse desde el más bajo, pasando por principiante, avanzado, experimentado, profesional hasta el mayor experto. Algunos modelos utilizan niveles con características breves desde novato digital, integrado e interoperable, totalmente implementado a entidad totalmente orientada a lo digital. En resumen, los niveles tienen sus propios nombres y características según los requisitos y propiedades que se deben cumplir en cada uno de los niveles. La estructura que se utiliza para desarrollar el modelo de madurez se describe a continuación:

- Determinar las principales dimensiones y subdimensiones de los procesos logísticos internos. Se seleccionan las principales áreas de análisis en la logística interna de la empresa de alimentación en Zamora. Estas se seleccionan en base a la observación de las operaciones logísticas internas individuales; al análisis y distribución del espacio de los almacenes; tecnología de manipulación y almacenamiento.
- Determinar los niveles que evalúan la preparación de los procesos logísticos de cada una de las dimensiones.
- Caracterizar los procesos logísticos internos desde el nivel más bajo hasta el nivel más alto.
- Evaluación de los procesos.

*Determinar las dimensiones y subdimensiones de los procesos de logística interna en la empresa de alimentación en Zamora.*

La logística interna, como bien sabemos, se encarga del flujo de materiales y también del flujo de información que lo acompaña. Por lo tanto, las principales dimensiones y subdimensiones que fueron seleccionadas para el estudio son las presentadas en la Tabla 2:



Tabla 2. Determinación de las dimensiones y subdimensiones

<b>DIMENSIONES</b>	<b>SUBDIMENSIONES</b>
<i>Manipulación</i>	Tecnología de manipulación Manejo de la información de manipulación
<i>Almacenamiento</i>	Tecnología de almacenamiento Manejo de la información de almacenamiento
<i>Suministro</i>	Suministro de materiales en los puestos de trabajo
<i>Material</i>	Identificación de materiales

### *Determinar los niveles de preparación*

Estos niveles determinan la verdadera preparación digital de la empresa. Se establecieron cinco niveles de preparación + el nivel cero, es decir, seis niveles, lo que se puede visualizar en la Tabla 3. Además, se da una breve definición de lo que significa cada nivel.

Tabla 3. Determinación de los niveles (Oleszków-Szlapka et al., 2019)

<b>NIVELES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Nivel 0</b> (No sabe)	El sistema logístico no cumple ningún requisito en el contexto de las aplicaciones de la Industria 4.0. Los sistemas de información y los programas informáticos sencillos para la de datos y su procesamiento no se utilizan en este nivel, solo en forma de papel. Los datos no se procesan ni se registran. Se utiliza la tecnología básica de manipulación y almacenamiento, en la que hay una parte mínima de mecanización, y las actividades realizadas se controlan manualmente. La tecnología no está guiada ni controlada de ninguna manera, no está interconectada. El proceso está mal gestionado o no se controla en absoluto; la gestión del proceso no tiene las herramientas organizativas y tecnológicas adecuadas.
<b>Nivel 1</b> (Ignorado)	Se utilizan programas informáticos sencillos, herramientas clásicas y sistemas de información básicos. Incluye la recogida manual de datos y su posterior introducción en el PC. La tecnología de manipulación y almacenamiento se controla manualmente. El proceso se planifica y es implementado; sin embargo, la gestión del proceso es peor debido a la falta de organización.
<b>Nivel 2</b> (Definición)	Se han realizado los primeros proyectos piloto en cuanto a la industria 4.0. Sin embargo, solo unos pocos procesos logísticos se apoyan en tecnología de la información y el sistema logístico no cumple los requisitos de la futura interconexión y comunicación. Los procesos logísticos internos se fijan y gestionan. El proceso se define mediante la planificación y la aplicación de las mejores prácticas de gestión. El uso de elementos automatizados básicos en



**Nivel 3**  
(Adopción)

actividades está empezando; sin embargo, prevalecen los métodos mecanizados en cooperación con el trabajador. La recogida de datos está parcialmente digitalizada. Procesamiento periódico de datos en varios sistemas de información internos que no están interconectados. Los sistemas de información internos, que están específicamente perfilados, tienen funcionalidades básicas según la logística interna.

La tecnología de manipulación y almacenamiento está más automatizada para tareas predefinidas con la cooperación humana. Las tecnologías digitalizadas y los sistemas de información se utilizan para la recogida de datos, que también están conectados a fuentes de datos externas, donde se produce una comunicación mutua. Se procesan los datos en sistemas de información interconectados. Es posible automatizar el procesamiento a nivel local, incluida la recopilación automática en almacenes de datos. Para llegar a este nivel implica interconexión, tecnologías de transporte y software de planificación; y el control automático parcial de los procesos y la tecnología mediante el uso de sistemas de información avanzados. La Industria 4.0 forma parte de la estrategia de la empresa. La aplicación de las tecnologías de la Industria 4.0 en la logística se persigue y controla como un proceso de mejora continua. Se dispone de las competencias necesarias, pero requieren una actualización.

**Nivel 4**  
(Gestión)

Los procesos están digitalizados y automatizados, con una limitada intervención humana, que suele actuar como control. En este nivel, por tanto, la mayoría de los procesos están automatizados; sin embargo, aún no se trata de una automatización compleja. El proceso está orientado digitalmente y se basa en una sólida infraestructura tecnológica. Utiliza sistemas de información que conectan todas las áreas de la empresa, incluidas las fuentes externas, y hay un procesamiento automático. La información es compartida por toda la empresa. Hay integración de datos estructurados y no estructurados; procesamiento de datos de todas las áreas; uso de análisis predictivos avanzados; sincronización autónoma de los procesos de producción y logística. En el sector de la logística todos los sistemas de software están conectados mediante interfaces; los datos importantes se adquieren automáticamente.

**Nivel 5**  
(Integrado)

Los procesos están totalmente automatizados y solo son revisados por personas. Se trata, por tanto, de una automatización compleja, en la que todo el proceso está automatizado y los humanos solo asumen el papel de la planificación y la gestión estratégica. La tecnología de manipulación, almacenamiento y suministro está controlada por un sistema de formación. La empresa está totalmente equipada con sensores. Hay comunicaciones en línea y sistemas de información automáticos totalmente interconectados, compatibles, interconectados con los sistemas de producción y gestión de toda la parte logística de la empresa, incluidos los recursos externos. Se trata de una cobertura empresarial utilizando tecnología inalámbrica (fibra óptica), tecnología de bajo consumo; datos en tiempo real, comunicación M2M basada en sistemas de control.

En el **anexo II**, se puede visualizar el diseño del modelo de madurez, donde se divide por subdimensiones para lograr un análisis más detallado de las dimensiones. Los resultados resumidos de la ejecución del modelo de madurez se presentan en la





Tabla 4. Resultados de la aplicación del modelo de madurez

DIMENSIÓN	SUBDIMENSIÓN	NIVEL	OBSERVACIONES
<b>Manipulación</b>	Tecnología de manipulación	Nivel 1	Se conoce el objetivo, la cantidad y responsable de la manipulación. La tecnología de manipulación está mecanizada y controlada manualmente por los operarios. Usan carretillas elevadoras eléctricas y mecánicas pero no AGV. En algunas zonas aún usan transpaletas. Los sistemas no están interconectados. No utilizan sensores de movimiento.
	Manejo de la información de manipulación	Nivel 2	La empresa cuenta con un ERP donde se gestionan las cantidades en el almacén pero no en tiempo real y no se integra con otras áreas. No cuentan con análisis de los datos más que algunos datos en Excel. En algunos casos la información primero se recolecta en papel y luego se digitaliza. El ERP (pocos módulos), Excel, Access. Cada área tiene su propio sistema de información y recogida de datos (No están interconectados)
<b>Almacenamiento</b>	Tecnología de almacenamiento	Nivel 1	Conocen algunas soluciones avanzadas para mejorar pero no se utilizan. Los artículos de stock se almacenan en estanterías, con ubicaciones marcadas con reglas definidas
	Manejo de la información de almacenamiento	Nivel 2	se IMPLEMENTAN algunas soluciones avanzadas para la mejora de información. Procesamiento periódico de datos en varios sistemas de información que no están interconectados y los datos no están estructurados. Básica conexión de la tecnología de almacenamiento. Identificación de datos y posible localización de los mismos. INFORMACIÓN PARCIALMENTE DIGITALIZADA
<b>Suministro</b>	Suministro de materiales en los puestos de trabajo	Nivel 2	Uso de MRP II. Existen algunas rutas de movimientos. Los materiales se suministran con equipos mecánicos y eléctricos. Manipulación mediante transpaletas, cintas transportadoras. Se inicia con planes de mejora de suministro de materiales, reuniones de mejora continua, etc.
<b>Material</b>	Identificación de materiales	Nivel 2	Los materiales ocupan un lugar específico que facilita su identificación y localización en el almacén. Utilización de métodos FIFO, LIFO, etc. Se utiliza código de barras, lectores de códigos de barras



### 6.2.2.1. Resultados del modelo de madurez.

Después de aplicar el modelo de madurez se puede concluir que la empresa se encuentra entre el nivel 1 y el nivel 2, lo que significa que la empresa de alimentación utiliza programas informáticos sencillos y sistemas de información básicos. Algunos de los procesos están estandarizados, pero no todos. La recogida de datos esta parcialmente digitalizada y estos son procesados por sistemas de información solo dentro de la empresa.

La empresa conoce que existen algunas soluciones avanzadas para mejorar los flujos de materiales e información, pero no se utilizan porque no quieren realizar fuertes inversiones económicas, y porque no cuentan con personal cualificado para implementar dichas soluciones. Sin embargo, están dispuestos a implementar algunas soluciones para la mejora de sus procesos.

### 6.3. Propuesta según el diagnóstico y las tecnologías de la industria 4.0 investigadas.

Partiendo de los resultados del diagnóstico que se realizó y teniendo en cuenta la opinión del responsable de logística y de producción en base a su experiencia y conocimiento, se proponen las siguientes soluciones Tabla 5 tecnológicas de la industria 4.0 para aplicar en la logística interna de la empresa analizada.

Tabla 5. Propuesta de las soluciones tecnológicas para la industria 4.0

<i>N°</i>	<i>ALTERNATIVAS</i>
<i>1</i>	Big Data
<i>2</i>	AGV
<i>3</i>	Simulación de procesos (gemelo digital)
<i>4</i>	Robótica y automatización de procesos

Estas soluciones tecnológicas de la industria 4.0 aplicadas en la logística interna de la empresa ayudarán a su mejora. De este modo, se logrará aumentar su nivel de preparación, permitiendo que sea cada vez más competitiva en este mundo tan globalizado y digitalizado. En la Tabla 6 se muestra una planificación inicial de la implementación de la propuesta de las alternativas dadas.



Tabla 6. planificación inicial de la implementación de la propuesta de las alternativas

N°	ALTERNATIVAS	¿Por qué se debe implementar?	¿Que se espera con dicha implementación?	Stakeholders	Áreas de implementación
1	Big Data	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los datos no están interconectados</li> <li>- Tienen grandes volúmenes de datos y la gran mayoría llega por fuentes diferentes</li> <li>- En su gran mayoría los datos no se analizan</li> <li>- Duplicidad de información</li> <li>- En algunos casos la recolección de datos es manual y luego se digitaliza</li> <li>- Pérdida de trazabilidad (Problemas en el flujo de información).</li> <li>- La información no se analiza en tiempo real por lo que existe dificultad en tomar decisiones rápidamente.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calidad de la información</li> <li>2. Eliminar duplicidades y errores en los datos</li> <li>3. Flexibilidad</li> <li>4. Optimización de búsqueda e información.</li> <li>5. Encontrar rápidamente oportunidades de mejora en las áreas de la empresa</li> <li>6. Minimizar el error humano (Analizar datos históricos y datos en tiempo real.</li> <li>7. Rapidez en la toma de decisiones asertivas</li> <li>8. Optimización de las existencias</li> </ol>	<p><b>Internos:</b> Directivos, Empleados</p> <p><b>Externos:</b> Empresa especializada en análisis de datos e implementación de <i>big data</i>.</p>	<p>En el mismo orden que sigue:</p> <p>Logística Producción Toda la empresa</p>
2	AGV	<p>Uno de los principales problemas que existen en la empresa es que muchas veces se pierde trazabilidad de los materiales y productos.</p> <p>Como la empresa no está ubicada en una ciudad muy poblada existe escasez de mano de obra cualificada para montacarguista por lo que en algunas ocasiones se queda sin personal para operar, con los AGV se solucionaría dicho inconveniente.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perfecta trazabilidad de materiales.</li> <li>2. Flexibilidad.</li> <li>3. Minimizar errores</li> <li>4. Optimización de recursos</li> <li>5. Automatización de procesos</li> </ol>	<p><b>Internos:</b> Directivos, personal del área de Logística y operaciones</p> <p><b>Externos:</b> Expertos en AGV</p>	<p>Almacén</p>



3	Simulación de procesos y gemelos digitales	<p>I+D realiza dos o tres pruebas diarias para mejorar el rendimiento de la producción, por lo que diariamente se están moviendo las líneas y las máquinas para realizar dichas pruebas generando pérdidas de tiempo, paradas de líneas de producción y elevados costes de fabricación</p> <p>Además, la empresa fabrica bajo el modelo de producción flexible, es decir, las líneas de producción son móviles y los productos se pueden fabricar en cualquier línea se pierde mucho tiempo en cambiar la estructura física y sin saber si va a funcionar o no.</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Predecir el comportamiento de la producción según las máquinas y las líneas.</li><li>2. Reducir costes al acortar los ciclos de desarrollo.</li><li>3. Simular las líneas de fabricación y que solo con un clic los trabajadores puedan visualizar el plano de montaje de las líneas sin tener que perder tiempo en consultar fichas técnicas y validaciones.</li><li>4. Con la aplicación de los gemelos digitales se podrá probar virtualmente antes de realizar un cambio físico, lo que supone un ahorro de tiempo en la configuración de las máquinas</li></ol>	<p><b>Internos:</b> Directivos, departamento de producción y operaciones</p> <p><b>Externos:</b> Expertos en simulación</p>	Producción
4	Robótica y automatización de procesos	<p>Actualmente se tienen varias reclamaciones por errores humanos en los diferentes procesos de fabricación. Muchos accidentes de trabajo</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Minimizar el número de tareas repetitivas y exigentes.</li><li>2. Minimizar el número de reclamaciones</li><li>3. Eliminar errores humanos.</li><li>4. Contribuye a mejorar la seguridad de la empresa al reducir el número de accidentes.</li></ol>	<p><b>Internos:</b> Directivos, área logística, operaciones, producción, calidad, I+D</p> <p><b>Externos:</b> Expertos en robótica y automatización.</p>	Producción Embalajes Recepción de materiales Suministro de materiales



## 7. Estudio económico

### 7.1. Introducción

El objetivo de este apartado es valorar el coste económico que supone el desarrollo del presente TFM. Este apartado se dividirá en varias fases para lograr el máximo detalle posible. En primero lugar, se definirán las personas y las fases del proyecto, se calcularán una serie de categorías de costes asociadas a él y se determinará el número de horas que ha trabajado cada profesional en el proyecto. A partir de estos y otros elementos se calculará finalmente el coste del proyecto, tanto el coste por fases, como el coste total.

Los elementos del estudio económico serán: profesionales que intervienen en el proyecto, definición de las fases del proyecto, costes de elaboración del proyecto incluyendo las horas efectivas y las tasas horarias del personal, costes asignados a cada fase del proyecto y, por último, coste total.

### 7.2. Profesionales que intervienen en el proyecto

Para llevar a cabo este proyecto se decide formar un equipo de trabajo con personal muy polivalente, de forma que puedan abordar diferentes temas sin complicaciones. Las personas que van a participar en la realización de este proyecto son las siguientes: un director del proyecto, un ingeniero de proyectos senior y un ingeniero Junior. Dichas personas establecen unas relaciones entre ellas de acuerdo con una determinada jerarquía, tal como se muestra en la Ilustración 39

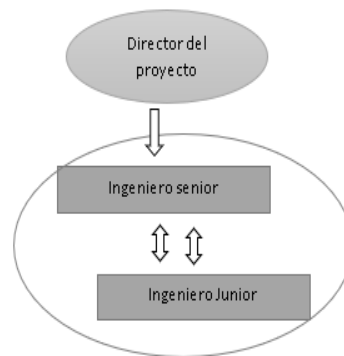


Ilustración 39. Organización del proyecto

**Director del proyecto.** Será el responsable de coordinar las tareas de todo el equipo de trabajo. Realizará la planificación del proyecto al igual que el presupuesto para ponerle en marcha. Entre sus funciones están: la elaboración del informe de viabilidad del proyecto; realización de análisis del proyecto; evaluación y gestión del riesgo y de las posibles amenazas; monitorización de la ejecución del proyecto (tiempo, coste, calidad, riesgo); y comunicar a la directiva semanalmente el estado de desarrollo del proyecto. Además, tendrá la máxima responsabilidad ante cualquier conflicto que surja en su realización. Su formación será ingeniero en organización industrial, con años de experiencia en el sector y certificaciones en MBA y PMP.

**Ingeniero senior.** Es un profesional especializado en gestión y dirección de proyectos, además de contar con un máster en logística. Cuenta con experiencia en grandes empresas de logística. Hoy en día hace parte de la plantilla de la empresa (desde hace 5 años). Es la persona encargada de redactar las partes más técnicas y complejas del proyecto, corregir el trabajo realizado por parte del ingeniero junior.

**Ingeniero Junior.** Profesional en ingeniería industrial, con un máster en industria 4.0. Encargado de investigar las diferentes soluciones implementadas en las industrias en cuanto a logística 4.0. Se encargará de identificar y evaluar el estado actual de preparación de la empresa en logística interna 4.0. Será el encargado de buscar la mejor solución para ayudar a la futura implementación de las tecnologías de la industria 4.0 en la empresa. Y, finalmente investigará sobre los retos a los que se enfrentan las industrias que quieren incursionar en la industria 4.0 a nivel de logística interna.

### 7.3. Definición de las fases del proyecto.

Las distintas fases del proyecto que se van a presentar a continuación corresponden con las etapas que lleva a cabo la empresa para realizar el proyecto de la forma más adecuada. En la Ilustración 40 se visualiza de forma detallada cada una de las fases con sus respectivas actividades y fechas.



Actividades		Marzo	Abril	Mayo				Junio				Julio	
		Semana 2	Semana 4	Semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	Semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	Semana 1	semana 2
FASE 1. Motivación del proyecto	Análisis general del sistema	15-mar											
	Planificación inicial y orientación de la investigación	15-mar											
	Revisión de la literatura (Ademas de retos y factores críticos)		29-abr										
FASE 2: Puesta en marcha del Proyecto	Objetivos de la investigación.		1-may										
	Delimitaciones, responsabilidades del personal del equipo, fechas, etc.		1-may										
FASE 3 y 4: Recopilación de la información y elaboración del proyecto	Capítulo 1 - "Gestión de la logística"	Introducción, definición y evolución de la logística			3-may								
		Relación de la logística con producción y logística interna			6-may								
		La cadena de suministro				10-may							
		Tendencias de la logística y la cadena de suministro				11-may							
		Las TIC's y la logística				14-may							
	Capítulo 2 - "Industria 4.0"	Introducción, definición y evolución de la industria 4.0					17-may						
		Perspectiva de la industria 4.0						20-may					
		Entorno de la logistic 4.0						20-may					
		Retos de la logística 4.0						23-may					
		Factores de éxito en la logística 4.0						28-may					
FASE 3 y 4: Recopilación de la información y elaboración del proyecto	Capítulo 3 "Estudio de las soluciones aplicadas en la logística interna 4.0" Parte I	Que se espera de la logística 4.0							5-jun				
		Big data, internet de las cosas, Blockchain											
	Capítulo 4 "Estudio de las soluciones aplicadas en la logística interna 4.0" Parte II	Inteligencia artificial, Machine learning									12-jun		
		Roboica y automatización, AGV, realidad aumentada										19-jun	
	Capítulo 5 "Caso de estudio: Diagnostico de la logística 4.0 en Freigel FoodSolutions"	Manufatura aditiva, simulacion y gemelos digitales, RFID											27-jun
		Entrevista de logística 4.0											10-jul
	Propuesta	Modelo de madurez											10-jul
		Crear una propuesta de soluciones que se pueden implementar en la empresa											11-jul
Ajustes finales	Motivación, introducción, resumen											12-jul	
	Conclusiones y líneas futuras.											14-jul	
FASE 5. Presentación de las soluciones	Elaboración de la presentación power point											19-jul	
	Presentación del TFM											21-jul	

Ilustración 40. Fases del proyecto con sus respectivas fechas

En Ilustración 41 muestran las fases del proyecto, de forma resumida.

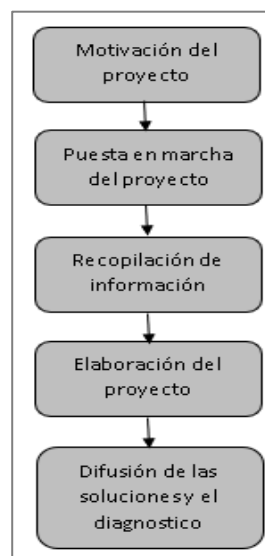


Ilustración 41. Fases del proyecto

La explicación de cada etapa se expone a continuación:



- **Motivación del proyecto.** En esta etapa, se lleva a cabo un análisis general del sistema. Para ello, el ingeniero junior, gracias a su máster en logística hace un análisis de las soluciones logísticas en la industria 4.0, además de investigar los retos y factores críticos a los que se enfrentan las empresas y los profesionales hoy en día para lograr ser competitivos. El resultado es la necesidad de investigar las soluciones dedicadas a la logística interna 4.0 finalizando con un diagnóstico en Freigel FoodSolucion S.A a través de la observación y aplicación de un modelo de madurez llevando así a proponer algunas alternativas para su posterior implementación.
- La segunda etapa se lleva a cabo una vez la dirección de la empresa decide que la información que aportó el ingeniero junior efectivamente requiere de dicha investigación. Es entonces cuando se lleva a cabo la **puesta en marcha del proyecto**. Esta etapa se inició con una reunión donde se establecieron la planificación temporal del trabajo, las líneas de investigación, las delimitaciones, las responsabilidades de cada integrante del equipo, las fechas de cada una de las etapas, ..., entre otros.
- Una vez puesta en marcha el proyecto se procede a la **recopilación de información y elaboración de la memoria**. Se identificaron las principales fuentes fiables de información y se realizó un estudio del arte en el que se encuentran tanto la historia de la logística como de la industria 4.0, además de los retos a los que se enfrentan las empresas, tendencias en cuanto a las soluciones logísticas internas y, finalmente, sobre las aplicaciones en la industria de las tecnologías 4.0. En paralelo a la búsqueda de información se va construyendo la memoria del proyecto, donde se va dejando constancia de toda la información consultada. En la etapa final de la elaboración se decide realizar un diagnóstico e implementación de un modelo de madurez que ayuda a identificar el estado actual y la preparación para la industria 4.0 de la empresa.
- Por último, se establece una reunión con la directiva de la empresa en la que se **presenten las soluciones** que se han definido para que puedan implementar en la empresa de acuerdo con los resultados del diagnóstico, el modelo de madurez y el método multicriterio aplicado. Estas soluciones pueden ayudar a la mejora de la empresa.

#### 7.4. Costes de elaboración del proyecto

En este apartado se va a desarrollar el estudio económico, relacionándolo con las diferentes etapas del proyecto. Se realizará el cálculo de todas las secciones, desglosándolo cada una de ellas más adelante. Lo que se busca es analizar el coste económico de los distintos activos que se han utilizado para llevar a cabo el proyecto (amortización de equipos, materiales, consumibles, costes indirectos, horas de trabajo del personal, ...).

El estudio económico permitirá conocer, en primer lugar, los costes asociados a cada etapa del proyecto y, en segundo lugar, el coste total del proyecto. Para este estudio nos centraremos básicamente en el coste de las horas efectivas anuales y tasas horarias del personal,





el cálculo de amortizaciones, el coste del material consumible, los costes indirectos y las horas del personal dedicadas a cada fase del proyecto. De esta forma, será posible analizar la influencia de cada uno de los procesos que intervienen con relación al coste total del proyecto. Para realizar el estudio, se procederá de la siguiente manera:

1. Cálculo de las horas efectivas anuales y de las tasas por hora de los salarios.
2. Cálculo de las amortizaciones del equipo
3. Coste por hora y por persona de los materiales calificados como consumibles.
4. Coste por hora y por persona de los costes indirectos
5. Horas del personal dedicadas a cada una de las etapas.

### 7.5. Horas efectivas anuales y tasas horarias del personal

Como primer paso es necesario establecer las horas efectivas anuales de cada profesional. Todos los valores quedan reflejados en las Tabla 7 y Tabla 8; esta última se realiza para que el estudio económico sea lo más detallado posible.

Tabla 7. Días efectivos anuales

Concepto	Días/horas
Año (días):	365,25
Sábados y domingos:	-104,36
Días efectivos de vacaciones:	-20
Días festivos reconocidos:	-12
Media de días perdidos por enfermedad:	-15
Cursos de formación:	-4
Total, estimado de días efectivos:	210
<b>Total, horas efectivas (8horas/día)</b>	<b>1.680</b>

Tabla 8. Semanas efectivas anuales.

Concepto	Días/horas
Año medio (semanas)	52
Vacaciones y festivos:	-5
Enfermedad	-2
Cursos de formación	-1
<b>Total, semanas:</b>	<b>44</b>

Como en el proyecto participan varios profesionales de diferentes categorías y con tiempos de experiencia diferente se realizará una asignación de cargos para conocer los salarios. Como se recordará, participa un Ingeniero de organización industrial, que actúa como director del proyecto, quien cuenta con más de 10 años de experiencia. También el ingeniero senior con un máster en logística y especializado en gestión y dirección de procesos, que tiene el cargo de coordinador de *supply chain*, con más de 5 años de experiencia. Por último, el ingeniero junior, quien cuenta con un máster en industria 4.0 y 3 años de experiencia, y que



ocupa el cargo de analista de *supply chain*. En Tabla 9 podemos identificar el sueldo de cada trabajador.

Tabla 9. Costes del equipo del proyecto

Concepto	Director del proyecto	Ingeniero Senior	Ingeniero junior
Sueldo neto:	57.915€	44.590€	17.030€
Seguridad social (35%)	31.185€	24.010€	9.170€
Total:	89.100€	68.600€	26.200€
<b>Coste Semanal:</b>	2.025€	1.559€	595.34€
<b>Coste horario:</b>	<b>53.04€</b>	<b>40.83€</b>	<b>15.60€</b>

## 7.6. Cálculo de amortizaciones

Como es un proyecto principalmente de investigación no se necesitan importantes inversiones (ni en infraestructura, maquinaria y/o equipos tecnológicos sofisticados). El objetivo de este apartado es analizar la amortización de los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto. Recordemos que la amortización es “*una expresión de la pérdida de valor (depreciación) que sufren los activos fijos*”(Economipedia, n.d.). El método que se utilizará en este proyecto será el método lineal (el más común), la fórmula para su cálculo es la que se presenta a continuación:

$$\text{Cuota anual} = \frac{\text{Valor de la adquisición}}{\text{Nº años de vida útil}}$$

El número de vida útil serán 5 años, tras los cuales el valor residual de estos equipos será nulo. La suposición de los 5 años se debe a la rápida obsolescencia que presentan los equipos informáticos en la actualidad. En la Tabla 10 se presentan los valores de la amortización anual, semanal y diaria de cada uno de los equipos destinados y utilizados en el proyecto

Tabla 10. Amortización del proyecto

Concepto	Coste	Cantidad	Coste Total
Laptop HP 245 G4: Procesador AMD E1 6015 (1.4 GHz), Memoria de 8GB DDR3L, disco duro de 500GB	1250 €	3	3750€
Microsoft Office Profesional 2016	134,99€	2	269,98€
Programa de referencias Mendeley	0	0	0
Impresora HP Laser Jet720	275€	1	275€
<b>Total, a amortizar</b>			<b>4294,98 €</b>
	<b>Tipo</b>	<b>Periodo</b>	<b>Amortización</b>
	<b>Semanal</b>	260 semanas	<b>16,51</b>
	<b>Diaria</b>	1825 días	<b>2,35</b>
	<b>Horaria</b>	14610 horas	<b>0,29</b>



## 7.7. Coste del material consumible

En la Tabla 11 se presentan los costes de los materiales consumibles necesarios para llevar a cabo el proyecto. Se incluye en la tabla las estimaciones de consumo de cada material por persona. Al sumar todos los costes de materiales consumibles se obtiene el total del coste anual por persona; este total se divide entre los días y las horas efectivas para obtener el coste diario y horario por persona.

Tabla 11. Coste del material consumible del proyecto

Concepto	Coste
Papel para la impresora	29€
Suministros para la impresora	120€
Post it	10€
Otros	100€
<b>Coste anual total por persona</b>	<b>259€</b>
<b>Coste diario total por persona</b>	<b>1,23€</b>
<b>Coste horario por persona</b>	<b>0,15€</b>

## 7.8. Costes indirectos

Los costes indirectos son aquellos costes en los que la empresa incurre durante el ejercicio de su actividad, cuya asignación es más complicada, ya que no se relacionan directamente con la producción; es decir, son aquellos costes que no tienen que ver directamente con la relación del proyecto, pero que están presentes en el desarrollo de este. Algunos ejemplos de costes indirectos son: el alquiler, los servicios o internet. En la Tabla 12 se presentan los costes indirectos de este proyecto.

Tabla 12. Costes indirectos

Concepto	Coste
Alquileres	1800€
Wifi	120€
Electricidad	180€
Otros	300€
<b>Coste anual por persona</b>	<b>2400€</b>
<b>Coste diario por persona</b>	<b>11,4€</b>
<b>Coste horario por persona</b>	<b>1,42€</b>

## 7.9. Horas del personal dedicadas a cada fase del proyecto

Mediante la realización de un estudio de tiempo Ilustración 42, se determinó que la dedicación del personal en cada una de las etapas ha sido la que se recoge en la Tabla 13



Actividades		Director proyecto			Ingeniero senior			Ingeniero Junior		
		Min	Horas	Días	Min	Horas	Días	Min	Horas	Días (de 8 horas)
FASE 1. Motivación del proyecto		15	0,3	0,031	60	1,0	0,125	60	1,0	0,125
FASE 2. Puesta en marcha del Proyecto		0	0,0	0,000	120	2,0	0,250	490	8,2	1,021
FASE 3 y 4 Recopilación de la información y elaboración del proyecto	Capítulo 1 - "Gestión de la logística"	0	0,0	0,000	180	3,0	0,375	2250	37,5	4,688
	Capítulo 2 - "Industria 4.0"	0	0,0	0,000	90	1,5	0,188	810	13,5	1,688
	Capítulo 3 "Estudio de las soluciones aplicadas en la logística interna 4.0" Parte I	0	0,0	0,000	300	5,0	0,625	1950	32,5	4,063
	Capítulo 4 "Estudio de las soluciones aplicadas en la logística interna 4.0" Parte II	60	1,0	0,125	180	3,0	0,375	1860	31,0	3,875
	Capítulo 5 "Caso de estudio: Diagnostico de la logística 4.0 en una empresa de alimentación". Crear el diseño del formulario de la encuesta y aplicarlo. Diagnostico mediante el modelo de madurez.	60	1,0	0,125	60	1,0	0,125	1458	24,3	3,038
	Estudio economico	120	2,0	0,250	40	0,7	0,083	450	7,5	0,938
	Conclusiones, resumen, introduccion, etc	0	0,0	0,000	120	2,0	0,250	435	7,3	0,906
Ajustes finales y diseño de la presentación	25	0,4	0,052	180	3,0	0,375	720	12,0	1,500	
FASE 5. Presentación de las soluciones		30	0,5	0,063	60	1,0	0,125	60	1,0	0,125
<b>TOTAL</b>		<b>310,00</b>	<b>5,17</b>	<b>0,65</b>	<b>1390,00</b>	<b>23,17</b>	<b>2,90</b>	<b>10543,00</b>	<b>175,72</b>	<b>21,96</b>

Ilustración 42. Estudio de tiempos del personal del proyecto

Tabla 13. Horas del personal dedicadas a cada fase del proyecto

Personal	ETAPAS				TOTAL
	1 (Motivación del proyecto)	2 (Puesta en marcha del Proyecto)	3 y 4 (Recopilación de la información y elaboración del proyecto)	5 (Presentación)	
Director del proyecto	0,3	0,0	4,4	0,5	5,2
Ingeniero Senior	1,0	2,0	19,2	1,0	23,2
Ingeniero Junior	1,0	8,2	165,6	1,0	175,7
<b>TOTAL</b>	<b>2,3</b>	<b>10,2</b>	<b>189,1</b>	<b>2,5</b>	<b>204,1</b>

## 7.10. Costes asignados a cada fase del proyecto

Una vez determinadas las horas y los costes, se procede a asignar los costes calculados para los recursos a cada fase del proyecto. Se tendrán en cuenta las horas que cada persona dedica a cada etapa y las tasas horarias de salarios y amortización, así como los costes estimados para el material consumible y los costes indirectos.

En cada etapa se sigue una estructura definida. En el primer paso se calcula el coste del personal que forma parte del equipo del proyecto. Para ello, se multiplica el salario del personal por el número de horas que dedica a cada fase. La amortización de los equipos se calcula mediante el producto de la amortización horaria de los equipos por la suma de las horas que invierte el personal en cada una de las fases. A continuación, se realiza el cálculo de los costes



asociados a los materiales y los costes indirectos totales. Estos se calculan sumando las horas dedicadas por el personal en cada fase multiplicando por su correspondiente coste por persona.

### 7.10.1. Costes asignados a la fase 1: motivación del proyecto

Tabla 14. Costes de la fase 1: motivación del proyecto

Concepto	Coste	Horas	Coste/hora	Coste total
Personal	Director	0,3	53,04€	13,3 €
	Ingeniero Senior	1	40,83	40,8 €
	Ingeniero Junior	1	15,60€	15,6 €
Amortización equipos informáticos		2,3	0,29€	0,667 €
Consumibles		2,3	0,15€	0,345€
Costes indirectos		2,3	1,42€	3,266€
<b>Total, Coste 1:</b>				<b>73,98€</b>

### 7.10.2. Costes asignados a la fase 2: puesta en marcha del proyecto

Tabla 15. Puesta en marcha del proyecto

Concepto	Coste	Horas	Coste/hora	Coste total
Personal	Director	0,0	53,04€	0 €
	Ingeniero Senior	2,0	40,83	82,66 €
	Ingeniero Junior	8,2	15,60€	127,92 €
Amortización equipos informáticos		10,2	0,29€	2,958 €
Consumibles		10,2	0,15€	1,53 €
Costes indirectos		10,2	1,42€	14,484 €
<b>Total, Coste 2:</b>				<b>229,55 €</b>

### 7.10.3. Costes asignados a la fase 3 y 4: recopilación de información elaboración de la memoria

Tabla 16. Coste de la fase 3 y 4: recopilación de información y elaboración de la memoria

Concepto	Coste	Horas	Coste/hora	Coste total
Personal	Director	4,4	53,04€	234,3€
	Ingeniero Senior	19,2	40,83	782,6€
	Ingeniero Junior	165,6	15,60€	2582,6€
Amortización equipos informáticos		189,1	0,29€	54,83€
Consumibles		189,1	0,15€	28,36€
Costes indirectos		189,1	1,42€	268,52€
<b>Total, Coste 3 y 4:</b>				<b>6059,91€</b>

### 7.10.4. Costes asignados a la fase 5: difusión de las soluciones y el diagnóstico

Tabla 17. Costes de la fase 5: difusión de las soluciones y el diagnóstico

Concepto	Coste	Horas	Coste/hora	Coste total
Personal	Director	0,5	53,04€	26,52€
	Ingeniero Senior	1	40,83	40,83€



	Ingeniero Junior	1	15,60€	15,60€
	Amortización equipos informáticos	2,5	0,29€	0,725
	Consumibles	2,5	0,15€	0,375
	Costes indirectos	2,5	1,42€	3,55€
			<b>Total, Coste 5:</b>	<b>87,6€</b>

### 7.11. Coste total del proyecto.

El coste total del proyecto se logra sumando los costes totales de cada una de las fases que lo compone. Los costes obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18. Coste total del proyecto.

FASE	HORAS	COSTES
Fase 1. Motivación del proyecto	9,2	73.98€
Fase 2. Puesta en marcha el proyecto.	40,8	229.55 €
Fase 3 y 4. Recopilación de información y elaboración de la memoria	590,9	6059,91€
Fase 5. Difusión de las soluciones logística y el diagnostico	10	87,6€
<b>TOTAL</b>	<b>650,9</b>	<b>6451,04€</b>

Se incluye un gráfico por sectores donde se muestra gráficamente los costes por fases Ilustración 43, permitiendo concluir que el coste más representativo con un 94% fue en las fases número 3 y 4 (Búsqueda de la información y elaboración de la memoria).

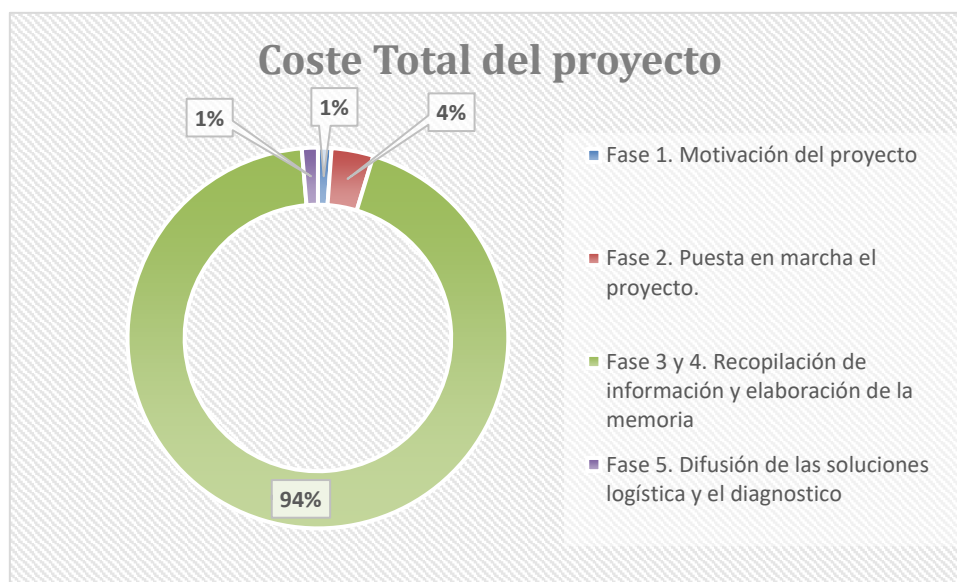


Ilustración 43. Costes por fases



## 8. Conclusiones y líneas futuras

### 8.1. Conclusiones

En primer lugar, es importante concluir que los objetivos establecidos en este trabajo se han alcanzado satisfactoriamente puesto que, en primer lugar, para el objetivo general se propusieron cuatro soluciones tecnológicas (Big Data, AGV, Simulación de los procesos productivos y la aplicación de la robótica y automatización) en la logística interna de la empresa, respondiendo a preguntas como: ¿por qué se deben implementar dichas soluciones tecnológicas?, ¿qué se espera con su implementación?, ¿quiénes son los *Stakeholders*? y ¿en qué áreas se debería iniciar la implementación? En cuanto a los objetivos específicos, se cumplieron al investigar y analizar la información de las principales fuentes especializadas como Scopus, WOS, Google académico y repositorio de la UVA permitiendo diseñar y emplear un diagnóstico de la situación actual de la empresa a través de la aplicación de una encuesta, un modelo de madurez y varias entrevistas con los responsables de logística y producción.

Otra conclusión es que el concepto de la industria 4.0, y la implementación de sus soluciones tecnológicas en la logística interna, impone numerosos retos a las empresas. Retos tales como inversiones financieras, estrictos requisitos de infraestructura, riesgos de implementación, nuevos niveles de formación y diferentes habilidades en los empleados. Además, continuamente surgen nuevas tecnologías y soluciones, lo que lo hace que sea muy difícil que una empresa esté totalmente automatizada y logre alcanzar el nivel máximo de madurez. Y si no se incorporan dichas innovaciones a los procesos, la empresa no seguirá siendo competitiva y mucho menos garantizará la excelencia de la logística interna.

Según la investigación realizada otro de los retos más crítico de la adopción de las tecnologías de la industria 4.0 en la logística interna es la formación y el desarrollo de los recursos humanos, es decir, formar nuevos profesionales, con nuevas habilidades y capacidades. Deben ser profesionales muy flexibles y demostrar capacidades de adaptación en un entorno de trabajo tan dinámico como lo es el de la industria 4.0. Para lo que será necesario un cambio de modelo en los centros educativos, cambiando los métodos de enseñanza para que sean más prácticos con el objetivo de formar profesionales eficientes con las nuevas tecnologías en el trabajo diario. En resumen, el cambio en las industrias será una constante, por lo que los mayores retos estarán ligados a la gestión del conocimiento, la formación continua y la innovación como fuente diferenciadora de la competencia.



La mayor dificultad en la elaboración de este trabajo radica en la gran cantidad de documentación existente, además, de que los conocimientos que tenía sobre la industria 4.0 aplicada a la logística interna eran muy insuficientes. Sintetizar la información de tantas tecnologías aplicadas en la logística ha supuesto un reto personal, sobre todo partiendo del hecho que la gran mayoría de bibliografía consultada era de carácter técnico. No obstante, la manera en que se ha documentado esa información en este documento es muy comprensible, con una estructura clara de forma que cualquier persona interesada en conocer los principios de las tecnologías mencionas pueda hacerlo sin problemas.

El diagnóstico diseñado e implementado permitió concluir que la empresa se encuentra entre el nivel 1 y el nivel 2 de madurez, lo que significa que la empresa de alimentación utiliza programas informáticos sencillos y sistemas de información básicos. Algunos de los procesos están estandarizados, pero no todos. La recogida de datos esta parcialmente digitalizada y estos son procesados por sistemas de información solo dentro de la empresa, lo que lleva a proponer la primera solución tecnológica de la industria 4.0. Ya que es indispensable que la empresa inicie el proceso de análisis de información masiva, que los datos sean confiables, no se dupliquen y sobre todo que pueda tomar decisiones en el momento en el que suceden las cosas y no esperar un tiempo para recolectar los datos de las diferentes fuentes de información y analizarlos llegando a tomar días para actuar.

El estudio económico aplicado indicó que el coste más representativo en la elaboración de este trabajo, con un 94% se encuentra en la búsqueda de la información y elaboración de la memoria. Esto se debe a que es la fase a la que mayor tiempo se le dedico (590h frente a 40,8h que es la segunda etapa con el mayor tiempo del proyecto).

## 8.2. Líneas futuras

Hacer una revisión bibliográfica sobre los modelos de madurez aplicados a la logística interna, puesto que los dos modelos estudiados en este documento no están ampliamente aplicados a las industrias ya que cada autor lo personaliza de acuerdo con su formación e interés. De hecho, es un campo de investigación reciente, dado que la industria 4.0 representa un nuevo escenario. Además, la industria en general cada día está innovando y esto se debe a la digitalización e incorporación de nuevos componentes inteligentes.

Crear un modelo de madurez personalizado, de acuerdo con los lineamientos y *core business* de la empresa y, de esta forma, obtener un diagnóstico mucho más completo y evaluando al detalle cada proceso.

Diseñar un plan de implementación completo para la empresa de alimentación, en base a toda la información consultada y a los resultados del diagnóstico. En este plan se establecerían fechas, se asignarían responsables, se diseñarían entregables.





En resumen, donde se realice todo un plan de trabajo para iniciar con la implementación de las cuatro propuestas establecidas.

Formar a los empleados de la empresa en los conceptos de la industria 4.0 para que de esta forma cuando llegue el momento de la implementación todos estén familiarizados con su importancia y sus beneficios.

## 9. Referencias Bibliográficas

- Accenture. (2018). *DHL and Accenture Unlock the Power of Blockchain in Logistics*. <https://newsroom.accenture.com/news/dhl-and-accenture-unlock-the-power-of-blockchain-in-logistics.htm>
- Altez Cárdenas, C. J. (2017). La gestión de la cadena de suministro: el modelo SCOR en el análisis de la cadena de suministro de una pyme de confección de ropa industrial en Lima este. Caso de estudio: RIALS E.I.R.L. [*Pontificia Universidad Católica Del Perú, Facultad de Gestión y Alta Dirección*], 81–83. <http://www.comexperu.org.pe/upload/articles/reportes/reporte-mypes-2020.pdf>
- Angeli Poli, G., Nayara Saviani, T., & Glória Júnior, I. (2018). Logistics 4.0: a Systematic Review. *Iberoamerican Journal of Project Management (IJoPM)*. *Www.Ijopm.Org*, 9(2), 32–47. [www.ijopm.org](http://www.ijopm.org).
- Asmae, H., & Rhizlane, B. (2020). Role of Information Technologies in Supply Chain Management. *ACM International Conference Proceeding Series, September 2014*. <https://doi.org/10.1145/3386723.3387827>
- Baars, H., & Kemper, H.-G. (2015). Integration von Big Data-Komponenten in die Business Intelligence. *Controlling*, 27(4–5), 222–228. <https://doi.org/10.15358/0935-0381-2015-4-5-222>
- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6–13), 137–143.



<https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>

- Ballou, R. (2004). Logística, Administración de la cadena de Suministro. In *Logística. Adm. la cadena Suminist.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Benítez, R., Escudero, G., & Kanaan, S. (2013). Inteligencia Artificial Avanzada. *Universitat Oberta de Catalunya, 0*, 1–214. [www.uoc.edu](http://www.uoc.edu)
- Cal, L. de la. (2021). Por qué suben los precios: en la “zona cero” del cuello de botella de la cadena de suministros. *El Mundo*, 1. <https://www.elmundo.es/economia/2021/11/15/61910a70fc6c831e148b45dc.html>
- Candia, L. D., Rodríguez, A. S., Castro, N., Bazán, P., Ambrosi, V. M., & Díaz, J. (2018). Mejoras en maquinaria industrial con IoT. Hacia la. *XXIV Congreso Argentino de Ciencias de La Comunicación*, 715–724.
- Cano, J. A., Salazar, F., Gómez-Montoya, R. A., & Cortés, P. (2021). Disruptive and Conventional Technologies for the Support of Logistics Processes: A Literature Review. *International Journal of Technology*, 12(3), 448–460. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i3.4280>
- Carter, R. (2022). *La lista definitiva de estadísticas de comercio electrónico para 2022*. Findstack. <https://findstack.com/es/ecommerce-statistics/#:~:text=2.14 mil millones de personas compran en línea.&text=Para poner eso en perspectiva, que en 2020%2C por ejemplo.>
- Chen, I. J., & Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: The constructs and measurements. *Journal of Operations Management*, 22(2), 119–150. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2003.12.007>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). Administración de la cadena de suministro. In *Estrategia, planeación y operación*.
- Christopher, M. (2011). *Logistics and supply chain management: creating value-adding networks*.
- Cuenca, S. E. (2015). Universidad Técnica de Ambato Universidad Técnica de Ambato. In *Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato* (Vol. 593, Issue 03). <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/12640>
- Da Xu, L. (2022). Emerging Enabling Technologies for Industry 4.0 and Beyond. *Information Systems Frontiers*, September 2021. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10213-w>
- DHL. (2017). *DHL brings Internet of Things to logistics*. Deutsche Post DHL Group. <https://www.dpdhl.com/en/media-relations/press-releases/2017/dhl-brings-internet-of-things-to-logistics.html>



- DHL. (2019). DHL ROLLS OUT GLOBAL AUGMENTED REALITY PROGRAM. *DHL Inmotion*. <https://inmotion.dhl/en/esports/article/dhl-rolls-out-global-augmented-reality-program>
- DHL. (2020). *Condition : Critical DHL SmartSensor*.
- Economicos, M. de asuntos. (2020). *Informe Anual del Sector TIC*. Gobierno. <https://www.mineco.gob.es/stfls/mineco/ministerio/ficheros/libreria/InformeTIC.pdf>
- Efthymiou, O. K., & Ponis, S. T. (2021). Industry 4.0 technologies and their impact in contemporary logistics: A systematic literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/su132111643>
- Electric, G. (2019). *Digital Twins are mission critical*. <https://www.ge.com/digital/applications/digital-twin>
- Enrique Ruiz, Matias Urenda, A. S. (2017). *Integrating simulation-Based optimization, lean and the concepts of industry 4.0*. 17(376 2), 3828–3839.
- Ericsson.com. (2018). *Industrial automation enabled by robotics, machine intelligence and 5G*. Ericsson. <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/industrial-automation-enabled-by-robotics-machine-intelligence-and-5g>
- Espinosa, C. M. (2016). *Information and communication technology in logistic processes of the companies*. <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/161792>
- Espinosa, F., Santos, C., & Sierra-García, J. E. (2021). Multi-AGV transport of a load: State of art and centralized proposal. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 18(1), 82–91. <https://doi.org/10.4995/RIAI.2020.12846>
- Facchini, F., Olésków-Szłapka, J., Ranieri, L., & Urbinati, A. (2020). A maturity model for logistics 4.0: An empirical analysis and a roadmap for future research. *Sustainability (Switzerland)*, 12(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/SU12010086>
- Fedele, L. (2011). From Basic Maintenance to Advanced Maintenance. *Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance*, 63–112. [https://doi.org/10.1007/978-0-85729-103-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-0-85729-103-5_5)
- Fernando Martínez. (2022). *Use IoT remote monitoring services to create new revenue streams*. Siemens. [https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/webinar/service-and-remote-condition-monitoring/101878?gclid=CjwKCAjw14uVBhBEEiwAaufYxYr1IPOKi4h4UG32OINtB4PB6OJXhoXcpWWoYoDRUQFNh1dVDhOtohoCxNMQAvD\\_BwE&stc=esdi100006&ef\\_id=CjwKCAjw14uVBhBEEiwAaufYxYr1IPOK](https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/webinar/service-and-remote-condition-monitoring/101878?gclid=CjwKCAjw14uVBhBEEiwAaufYxYr1IPOKi4h4UG32OINtB4PB6OJXhoXcpWWoYoDRUQFNh1dVDhOtohoCxNMQAvD_BwE&stc=esdi100006&ef_id=CjwKCAjw14uVBhBEEiwAaufYxYr1IPOK)



- Frazelle, E. (2002). Supply Chain: The Logistics of Supply Chain Management. In *America* (Vol. 185647, Issue September).
- Galati, F., & Bigliardi, B. (2019). Industry 4.0: Emerging themes and future research avenues using a text mining approach. *Computers in Industry*, 109, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.018>
- García, J. (2016). Gestión de la Cadena de Suministro: Análisis del uso de las TIC y su impacto en la eficiencia. *Tesis Doctoral*, 216. <https://eprints.ucm.es/46224/1/T39544.pdf>
- González-Marcos Fernando Alba-Elías, A. (2017). Machine Learning En La Industria: El Caso De La Siderurgia. *Economía Industrial*, 55–63. <http://www.minetad.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/405/GONZALEZ MARCOS Y ALBA ELÍAS.pdf>
- Gumus, A. T., Guneri, A. F., & Ulengin, F. (2010). A new methodology for multi-echelon inventory management in stochastic and neuro-fuzzy environments. *International Journal of Production Economics*, 128(1), 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.06.019>
- Gutierrez, Á. (2017). *ecommercenews*. <https://ecommerce-news.es/dhl-lleva-internet-las-cosas-la-escena-logistica/>
- Heuter, M., & Kueckelhaus, M. (2020). Next-Generation Wireless in Logistics. *Next-Generation Wireless in Logistics*.
- Horenberg, D. (2017). Applications within Logistics 4.0 : A research conducted on the visions of 3PL service providers. *9th IBA Bachelor Thesis Conference*, 1–20. <http://purl.utwente.nl/essays/72668>
- IBM. (2022). *IBM Food Trust*. <https://www.ibm.com/es-es/blockchain/solutions/food-trust>
- IKEA. (2018). *IKEA Place*. <https://www.ikea.com/au/en/customer-service/mobile-apps/say-hej-to-ikea-place-pub1f8af050>
- Jin, D. H., & Kim, H. J. (2018). Integrated understanding of big data, big data analysis, and business intelligence: A case study of logistics. *Sustainability (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/su10103778>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408–425. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- Khan, S., Singh, R., Haleem, A., Dsilva, J., & Ali, S. S. (2022). Exploration of Critical Success Factors of Logistics 4.0: A DEMATEL Approach. *Logistics*, 6(1), 13. <https://doi.org/10.3390/logistics6010013>



- Klumpp, M., Hintze, M., Immonen, M., Ródenas-Rigla, F., Pilati, F., Aparicio-Martínez, F., Çelebi, D., Liebig, T., Jirstrand, M., Urbann, O., Hedman, M., Lipponen, J. A., Biciato, S., Radan, A. P., Valdivieso, B., Thronicke, W., Gunopulos, D., & Delgado-Gonzalo, R. (2021). Artificial intelligence for hospital health care: Application cases and answers to challenges in european hospitals. *Healthcare (Switzerland)*, 9(8), 1–24. <https://doi.org/10.3390/healthcare9080961>
- Lawrentsius, P. M., & Pinagara, F. A. (2017). *Materials Inventory Management To Reduce Holding Cost And Backlog (System Dynamics Approach: A Case Study)*. 36(Icbmr), 674–687. <https://doi.org/10.2991/icbmr-17.2017.60>
- Luckert, M., & Schaffer-Kehnert, M. (2015). Using Machine Learning Methods for Evaluating the Quality of Technical Documents. *M.S. Thesis, Dept. Computer Science, Linnaeus Univ., Sweden*, 102. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:920202/FULLTEXT01.pdf>
- Maisueche Cuadrado, D. A. (2019). *Utilización Del Machine Learning En La Industria 4.0*. 118. <https://core.ac.uk/download/pdf/228074134.pdf>
- Martínez, T. R. (2019). *Estudio De La Aplicación De La Industria 4.0 En El Ámbito De La Logística*. 54–58. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/36767/TFM-I-1140.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mehami, J., Nawi, M., & Zhong, R. Y. (2018). Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 26, 1077–1086. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.144>
- Mercantil, E. (2021). *Seat suma dos robots autónomos para mejorar la logística de producción*. El Mercantil. <https://elmercantil.com/2021/04/28/seat-suma-dos-robots-autonomos-para-mejorar-la-logistica-de-produccion/>
- Moshood, T. D., Nawanir, G., Sorooshian, S., & Okfalisa, O. (2021). Digital twins driven supply chain visibility within logistics: A new paradigm for future logistics. *Applied System Innovation*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/asi4020029>
- Museos, D. E. (2020). Escaparate de museos. *Muncit*.
- Musiienko, I. (2020). *Evaluation of Information Technologies in Modern Supply Chain Systems*.
- Olessków-Szłapka, J., Wojciechowski, H., Domański, R., & Pawłowski, G. (2019). Logistics 4.0 maturity levels assessed based on GDM (grey decision model) and artificial intelligence in logistics 4.0 -trends and future perspective. *Procedia Manufacturing*, 39(2019), 1734–1742. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.266>
- Palma, J., & Marín, R. (2018). Inteligencia Artificial. *Inteligencia Artificial*, 1–158. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Inteligencia+Artificial:+un+enfoque+moderno#0>



- Paulino, O. (2022). *Modelo predictivo basado en Machine Learning para la Cadena de Suministro y su influencia en la gestión logística de una empresa de venta de autos Modelo predictivo basado en Machine Learning para la Cadena de Suministro y su influencia en la gestión logí. April.*
- Pérez, G. (2019). emergence of Logistics 4 . 0. *Industry 4.0 and the Emergence of Logistics 4.0 Background, ISSN: 1564(7).* [www.cepal.org/transporte](http://www.cepal.org/transporte)
- ProjectPro. (2022). *How Big Data Analysis helped increase Walmarts Sales turnover?* <https://www.projectpro.io/article/how-big-data-analysis-helped-increase-walmarts-sales-turnover/109>
- R, G., & M, L. (2019). The Concept of Logistics 4.0. *4th Logistics International Conference,* 283–293. [https://logic.sf.bg.ac.rs/wp-content/uploads/LOGIC\\_2019\\_ID\\_32.pdf](https://logic.sf.bg.ac.rs/wp-content/uploads/LOGIC_2019_ID_32.pdf)
- Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2022). Influence of Blockchain Technology in Manufacturing Supply Chain and Logistics. *Logistics,* 6(1), 15. <https://doi.org/10.3390/logistics6010015>
- Ramingwong, S., Ramingwong, L., Thaiupathump, T., & Chompu-inwai, R. (2021). Readiness Model for Integration of ICT and CPS for SMEs Smart Logistics. In *Implementing Industry 4.0 in SMEs.* [https://doi.org/10.1007/978-3-030-70516-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-70516-9_6)
- Riquelme, B. (2011). La evolución de la logística, el apoyo logístico integrado. *Revismar* 3, 245–250.
- Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. *Organizacija,* 50(3), 193–207. <https://doi.org/10.1515/orga-2017-0017>
- Roig, M. V., & Gutiérrez, C. C. (n.d.). *Evolución de la logística : pasado , presente y futuro.* 1–8.
- Rollo, A. (2022). The worst job in the hospital. *Veterinary Economics,* 53(1), 56.
- Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías,* 19(2), 177–191. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>
- Ryck, M., Versteyhe, M., & Debrouwere, F. (2020). Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques. *Journal of Manufacturing Systems,* 54(December 2018), 152–173. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.12.002>
- Sáenz, C. C. (2017). Related Papers. *Over The Rim,* 191–199. <https://doi.org/10.2307/j.ctt46nrzt.12>
- Silva, N., Barros, J., Santos, M. Y., Costa, C., Cortez, P., & Carvalho, M. S. (2021).



---

*Advancing Logistics 4.0 with the Implementation of a Big Data.pdf.*

- Sinovac. (2022). *Galletas Gullón optimiza su línea de producción con piezas 3D*. <https://sicnova3d.com/blog/casos-de-exito/galletas-gullon-optimiza-su-linea-de-produccion-con-piezas-3d/>
- Stączek, P., Pizoń, J., Danilczuk, W., & Gola, A. (2021). A digital twin approach for the improvement of an autonomous mobile robots (AMR's) operating environment— A case study. *Sensors*, 21(23). <https://doi.org/10.3390/s21237830>
- Tacanga, L., & Shari, B. (2017). *Facultad de ingeniería y negocios escuela académico profesional de negocios y competitividad*. 1–165.
- Tewari, P., Tiwari, P., & Goel, R. (2021). *Information Technology in Supply Chain Management*. July 2014, 165–178. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8497-2.ch011>
- Tijan, E., Aksentijević, S., Ivanić, K., & Jardas, M. (2019). Blockchain technology implementation in logistics. *Sustainability (Switzerland)*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/su11041185>
- Tirkolaei, E. B., Sadeghi, S., Mooseloo, F. M., Vandchali, H. R., & Aeni, S. (2021). Application of Machine Learning in Supply Chain Management: A Comprehensive Overview of the Main Areas. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021(MI). <https://doi.org/10.1155/2021/1476043>
- Torino, P. D. I., & Vacca, C. (2018). *Tutor from company*. March.
- Torres, M. ., & Prado, M. (2021). *Logística Inbound*. 784.
- Vachálek, J., Šišmišová, D., Vašek, P., Fit'ka, I., Slovák, J., & Šimovec, M. (2021). Design and implementation of universal cyber-physical model for testing logistic control algorithms of production line's digital twin by using color sensor. *Sensors*, 21(5), 1–12. <https://doi.org/10.3390/s21051842>
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 - A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP*, 63, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.014>
- Wordl, R. (2017). *LuluLemon recibió el premio "Mejor implementación de RFID minorista*. <https://rfidworld.ca/lululemon-given-best-retail-rfid-implementation->



---

award-at-rfid-journal-live-2017/2805

- Ynzunza-Cortés, C., Izarl-Landeta, J., & Bocarando, J. (2017). El entorno de la industria 4.0. *ConCiencia Tecnológica*, 54(1405–5597), 33–45. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6405835>
- Yudhistyra, W. I., Risal, E. M., Raungratanaamporn, I. S., & Ratanavaraha, V. (2020). Exploring big data research: A review of published articles from 2010 to 2018 related to logistics and supply chains. *Operations and Supply Chain Management*, 13(2), 134–149. <https://doi.org/10.31387/OSCM0410258>
- Zoubek, M., & Simon, M. (2021a). A framework for a logistics 4.0 maturity model with a specification for internal logistics. *MM Science Journal*, 2021(March), 4264–4274. [https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021\\_03\\_2020073](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021_03_2020073)
- Zoubek, M., & Simon, M. (2021b). Evaluation of the level and readiness of internal logistics for industry 4.0 in industrial companies. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/app11136130>





# 10. ANEXOS

## 10.1. ANEXO I: Diseño de la encuesta aplicada a la empresa de alimentación

Diagnostico de logística interna 4.0 - Guardado

Vista previa Tema

Preguntas

### Diagnostico de logística interna 4.0

Este formulario se hace con la finalidad de diagnosticar a la empresa en temas de logística 4.0, industria 4.0, TIC, entre otros, ..., que permita determinar, mediante el análisis de datos y respuestas, qué es lo que está pasando y cuáles son las soluciones logísticas que podría implementar la empresa.

1. ¿Dispone de un proceso de *picking* automatizado? \*

No

Si, ¿Cuál?

Otras



2. ¿Tiene un proceso automatizado de localización de mercancías en el almacén? \*

No

Sí, ¿Cuál?

Otras

3. ¿Utiliza sistemas de clase ERP como parte de la gestión empresarial? \*

No

Sí, ¿Cuál?

Otras

## 10.2. Diseño y aplicación del modelo de madurez

### Primera dimensión: **Manipulación** - Subdimensión: Tecnología de manipulación

DIMENSIÓN DE MANIPULACIÓN			
SUBDIMENSIÓN - Tecnología de manipulación			
¿Como se controla la tecnología de manipulación o que porcentaje de automatización incluye?			
NIVEL	CARACTERÍSTICAS DE LA SUBDIMENSIÓN	EJEMPLO DE ELEMENTOS LOGÍSTICOS	PORCENTAJE
0	El sistema de manipulación no está definido y no hay control del proceso. No se especifican rutas de transporte. La manipulación es controlada manualmente, incluida la carga y la descarga. La tecnología de manipulación no está guiada (sin sistema de información o señalización).	Equipos de manipulación manual - carretilla de recogida, transpaleta manual, tecnología de grúas	0%
1	Se define el sistema de manipulación, se establece el control del proceso según las normas. Se conoce el objetivo, la cantidad y responsable de la manipulación. La tecnología de manipulación está mecanizada y controlada manualmente por los operarios. Se cargan y descarga el material manualmente.	Equipos de manipulación mecánica - carretillas elevadoras, cintas transportadoras, grúas, transpaletas, plataformas, tractores	0
2	El sistema de manipulación y control de procesos está adaptado para la automatización en actividades estandarizadas. Los carros se mueven a lo largo de rutas definidas. La tecnología de manipulación se cambia al accionamiento eléctrico. Carga/descarga manual. Tecnología de manipulación guiada según la señalización y el registro digital. Implantación de unidades de accionamiento eléctrico y su parcial automatización	Manipulación mecánica y eléctrica, carretillas elevadoras, cintas transportadoras, tractores, tecnología de grúas, transpaletas.	0% - 25%
3	El equipo de manipulación conectado al IS recibe instrucciones básicas a través del IS. El ser humano carga y descarga material. Tecnología de manipulación mejorada con navegación y sensores de movimiento. Tecnología de manipulación guiada según la señalización, comunicación parcial entre los puestos de trabajo.	Carretillas elevadoras, tractores, trenes, camiones guiados por cinta magnética	25% - 50%
4	La tecnología de manipulación está automatizada, controlada y guiada por sistemas de información. Los operarios cargan y descargan el material. No hay solución autónoma, hay una robotización gradual de puestos de trabajo. La tecnología de manipulación automatizada sólo se utiliza para el transporte de materiales. Tecnología de manipulación guiada según un sistema de información con una comunicación en línea.	Equipos de manipulación automatizados carretillas elevadoras, trenes, camiones guiados por sensores integrados en el suelo, AGV, Gemelos digitales	50% - 75%
5	La tecnología de manipulación está totalmente automatizada, controlada y guiada por sistemas de información. Aquí sólo se supervisa. Se utiliza la inteligencia artificial: el robot carga y descarga el material. La tecnología de manipulación conecta la línea y el almacén de forma autónoma, hay un enlace con los puestos de trabajo. La tecnología de manipulación se guía según la información con comunicación parcial en línea. Equipos de manipulación para accionamientos eléctricos o de combustibles alternativos	Equipos de manipulación automatizada - carretilla elevadora no tripulada, drones. Robots colaborativos, AGV autonomos, Robots autonomos, CPS.	75% - 100%

### Primera dimensión: **Manipulación**- Subdimensión: Gestión de la información de manipulación.



DIMENSIÓN DE MANIPULACIÓN			
SUBDIMENSIÓN - Manejo de la información de manipulación			
¿Como se controla la transferencia de información de manipulación o que porcentaje de automatización incluye?			
NIVEL	CARACTERÍSTICAS DE LA SUBDIMENSIÓN	EJEMPLO DE ELEMENTOS LOGÍSTICOS	PORCENTAJE
0	Los datos no se registran ni se procesan, es posible registro manual aleatorio en papel. La tecnología de manejo no está interconectada y no hay flujo de comunicación de información.	Los registros se llevan en papel, libros, hojas.	0%
1	La recogida de los datos es manual y luego se introducen en el ordenador, la recogida de datos es periódica según la metodología.	Paquete office (Excel, Word); MRP	0%
2	Procesamiento periódico de datos en varios sistemas de información que no están interconectados y los datos no están estructurados. Básica conexión de la tecnología de manipulación, introducción del sistema de comunicación (control por un programa).	MRP II; ERP (pocos módulos), excel, Access. Cada área tiene su propio sistema de información y recogida de datos (No están interconectados)	0% -25%
3	Procesamiento de datos parcialmente automatizado en sistemas de información que se comparten en toda la empresa. Coordinación de los equipos de transporte y la sincronización autónoma de los procesos de producción logística en función de las condiciones y requisitos actuales.	ERP (Integradas todas las áreas); EDI; RFID	25% - 50%
4	Procesamiento de datos en sistemas de información que están interconectados, recogida automática de datos locales. Interconexión, tecnologías y software de planificación. Parcialmente control automático de los procesos y la tecnología mediante el uso de sistemas de información avanzados.	ERP (Enterprise Resource Planning); WMS (Warehouse Management Systems), RFID; tecnología WIFI; NFC: Nube de datos; aplicaciones móviles.	50% - 75%
5	Procesamiento totalmente automatizado de datos inteligentes conectados al almacenamiento en la nube y creación de un modelo de datos unificado. Comunicación mutua de equipos de transporte e intercambio de datos en tiempo real, la llamada comunicación M2M basada en sistemas de control con IA.	Telemetría; sensores; IA; Big data; AGV; apps; , RTLS (sistemas de localización en tiempo real)	75% -100%

## Segunda dimensión: **Manipulación**- Subdimensión: Tecnología de almacenamiento

DIMENSIÓN DE ALMACENAMIENTO			
SUBDIMENSIÓN - Tecnología de almacenamiento			
¿Cómo se controla la tecnología de almacenamiento o qué porcentaje de automatización incluye?			
NIVEL	CARACTERÍSTICAS DE LA SUBDIMENSIÓN	EJEMPLO DE ELEMENTOS LOGÍSTICOS	PORCENTAJE
0	No hay tecnología de almacenamiento utilizada.	Sistemas de almacenamiento convencionales	0%
1	Los artículos de stock se almacenan en estanterías, con ubicaciones marcadas con reglas definidas	Sistemas de almacenamiento convencionales Gestión del stock mediante la metodología ABC, clasificación por familias y tipos de componentes	0%
2	La tecnología de almacenamiento está parcialmente automatizada en operaciones estándar, tecnología de almacenamiento controlada manualmente de forma predeterminada. Gestión eficiente de posiciones de stock. Herramientas para la recogida de datos.	Gestión del stock mediante la metodologías de análisis de datos como estadísticas, tendencias, rotación del stock	0% -25%
3	La técnica de almacenamiento está automatizada para subáreas de operaciones predefinidas, existe la interferencia del factor humano. Estanterías dinámicas y elevadores. Sistemas con parcial automatización.	Sistemas drive - In. AGV	25% - 50%
4	Eliminación del factor humano. La tecnología de almacenamiento se automatiza en su mayor parte con medios robóticos. Sistema de almacenamiento automatizado para todos los artículos, equipados con sensores para ver el estado de funcionamiento	Aplicación del Big data para la gestión de las existencias. Almacenes rotativos, AMR, sensores. IoT con sensores , Gemelos digitales	50% - 75%
5	La tecnología de almacenamiento está completamente automatizada, con medios robóticos y dispositivos controlados automáticamente. Sistema autónomo. Equipado para la detección de funcionamiento y condiciones de fallo	Almacenes automáticos, WSN (Wireless sensor networks), IA, Impresión	75% -100%



## Segunda dimensión: **Manipulación**- Subdimensión: Manejo de la información de almacenamiento.

DIMENSIÓN DE ALMACENAMIENTO			
SUBDIMENSION - Manejo de la información de almacenamiento			
¿Como se controla la transfereencia de información de almacenamiento o que porcentaje de automatizacion incluye?			
NIVEL	CARACTERÍSTICAS DE LA SUBDIMENSION	EJEMPLO DE ELEMENTOS LOGISTICOS	PORCENTAJE
0	Los datos no se registran ni se procesan. Es posible que los pocos datos que tienen se hagan de forma manual (papel). No hay flujo de comunicación de información.		0%
1	Recogida manual de datos y su posterior introducción en el ordenador. La recogida de los datos es periódica. No hay ninguna conexión entre áreas.	Paquete office	0%
2	Procesamiento periódico de datos en varios sistemas de información que no están interconectados y los datos no estan estructurados. Básica conexión de la tecnología de almacenamiento. Identificación de datos y posible localización de los mismos.	Intercambio de información mediante correo electrónico.	0% -25%
3	Procesamiento de datos parcialmente automatizado en sistemas de información que se comparten en toda la empresa. Existe el almacenamiento de datos.	Se procesan los datos mediante algunos sensores y otras herramientas. Datos coherentes. Existen formatos y normas para el intercambio de información.	25% - 50%
4	Procesamiento de datos en sistemas de información que estan interconectados, recogida automática de datos del almacén.	Conexión de servidores de datos. Interpretación de los datos para su análisis. Big data, Big data analytics	50% - 75%
5	Procesamiento totalmente automatizado de datos inteligentes conectados al almacenamiento en la nube. Comunicación mutua de equipos de transporte e intercambio de datos en tiempo real	El sistema logístico actúa de forma autónoma basándose en los datos. Soluciones informáticas en toda la empresa (IA, IoT)	75% -100%

## Tercera dimensión: **Suministro de materiales**

DIMENSION DE SUMINISTRO			
SUBDIMENSION - Suministro de materiales en los puestos de trabajo			
¿Como se controla el suministro en los puestos de trabajo o que porcentaje de automatizacion incluye?			
NIVEL	CARACTERÍSTICAS DE LA SUBDIMENSION	EJEMPLO DE ELEMENTOS LOGISTICOS	PORCENTAJE
0	El sistema de suministro de materiales a producción no está definido y no hay control de este proceso. No se especifican rutas o movimientos. El suministro de los materiales se realiza manualmente. No existe un sistema de información eficaz.	Suministro manual y sin ningún control de los materiales que salen y que son devueltos. No existe planificación de materiales	0%
1	Se define el sistema de suministro de materiales, existen normas y pocos estándares. Se conoce la cantidad, el objetivo y el responsable del suministro de materiales. La tecnología de suministro está controlada manualmente por los trabajadores. Los trabajadores cargan y descargan los materiales manualmente.	Uso de MRP y plan maestro de producción. No existen cartografías de movimientos. Los materiales se suministran con equipos mecánicos.	0%
2	El sistema de suministro de materiales está adaptado para la automatización en actividades estandarizadas. Los equipos que suministran los materiales se mueven a lo largo de rutas definidas. Los equipos son eléctricos. Tienen en cuenta tanto las necesidades de gestión y planificación del material, como las de recursos y capacidades necesarias para la fabricación.	Uso de MRP II. Existen algunas rutas de movimientos. Los materiales se suministran con equipos mecánicos y eléctricos. Manipulación mediante transpaletas, cintas transportadoras.	0% -25%
3	Los equipos de suministro de materiales están conectados a sistemas de información donde reciben instrucciones básicas. Tecnología de suministro mejorada con navegación y sensores de movimiento.	Rutas correctamente definidas, cartografías de movimientos, bien definido el layout. Los materiales se suministran con carretillas tripuladas. Big data Analytics para analizar los materiales suministrados y pronosticar los próximos suministros	25% - 50%
4	La tecnología de suministro de materiales está automatizada controlada y guiada. Hay una robotización gradual. Tecnología de manipulación guiada según un sistema de información.	Gafas inteligentes, dispositivos por control de voz, Los materiales se suministran con Vehículos autoguiados (AGV), Gemelos digitales.	50% - 75%
5	La tecnología de suministro de materiales está totalmente automatizada, controlada y guiada por un sistema de información. Aquí solo se supervisa. Se utiliza la inteligencia artificial en robot de carga y descarga de material. Equipos eléctricos para el suministro. Uso de la Robótica y automatización	Servicios basados en datos, Big data (captación y uso de datos), RFID, RTLS (sistemas de localización en tiempo real), sistemas informáticos (ERP, WMS, sistemas en la nube). AMR (Robot autónomos) Utilización de IA (redes neuronales)	75% -100%

## Cuarta dimensión: **Identificación de materiales**



DIMENSION DE MATERIAL			
SUBDIMENSION - Identificación de materiales			
¿Cómo se controla la identificación de los materiales o que porcentaje de automatización incluye?			
NIVEL	CARACTERÍSTICAS DE LA SUBDIMENSION	EJEMPLO DE ELEMENTOS LOGÍSTICOS	PORCENTAJE
0	No utilizan ningún método para la identificación de materiales. Se gestionan a medida que van llegando desde el proveedor.	Etiquetas manuales	0%
1	La identificación de los materiales se realiza manualmente a través de un ordenador donde están creadas las plantillas para introducir los datos manualmente y luego imprimir.	Etiquetas impresas desde un ordenador.	0%
2	Los materiales ocupan un lugar específico que facilitan su identificación y localización en el almacén. Utilización de métodos FIFO, LIFO, etc.	código de barras, lectores de códigos de barras	0% - 25%
3	Identificar la mercancía de manera unívoca (no puede haber dos productos con el mismo código), se tiene trazabilidad de los materiales. La clasificación de los materiales se hace por familias, usos, tipo de material, clasificación ABC	ERP integrado	25% - 50%
4	Control exhaustivo de los artículos y registrar todos sus movimientos. La única manera de codificar los artículos que hay en un almacén de forma correcta es mediante un software (ERP, SGA)	RFID, ERP, WMS, dispositivos 3G y 4G. Pick to light, Put to light, Pick by voice. IOT. Sensores con tecnología NFC (Aplicación de DHL), uso de Blockchain	50% - 75%
5	Controlar de los materiales y todos sus movimientos en tiempo real. Uso de la robotización y automatización.	Warehouse Management System (WMS), Picking visual con realidad aumentada. Tecnologías de voz, IoT, materiales inteligentes. Blockchain	75% - 100%