

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Análisis de las tecnologías en la logística del retail

Autor: Raquel Pérez Villegas

Tutor: Juan Manuel González Ramírez

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2025



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Análisis de las tecnologías en la logística del retail

Autor:
Raquel Pérez Villegas

Tutor:
Juan Manuel González Ramírez
Profesor asociado

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2025

Trabajo Fin de Grado: Análisis de las tecnologías en la logística del retail

Autor: Raquel Pérez Villegas

Tutor: Juan Manuel González Ramírez

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2025

El Secretario del Tribunal

*“Tengo tres mensajes.
Nunca, jamás te rindas.
Nunca eres demasiado viejo para perseguir tus sueños.
Y parece un deporte solitario, pero hace falta un equipo”.*

— Diana Nyad —

Agradecimientos

Gracias a la empresa Scalpers, que me brindó la primera oportunidad de trabajar en la industria textil.

Gracias a mi tutor, Juan Manuel González Ramírez, por su tiempo e infinita predisposición.

Gracias a mis compañeros, su compañía hizo este camino más especial.

Gracias a toda mi gran familia, por su amor y confianza.

Gracias a los que me apoyaron en esta etapa.

Y, en especial, gracias a mi madre.

Raquel Pérez Villegas

Resumen

Este trabajo final trata de encontrar qué tecnologías 4.0 son más útiles para mejorar la logística en una pyme del sector textil. Para ello, se toma como ejemplo el caso de Inditex y se sigue una metodología que mezcla el análisis de datos con una visión práctica. El objetivo es ayudar a pequeñas y medianas empresas a decidir qué herramientas tecnológicas pueden aplicar realmente, teniendo en cuenta sus recursos y lo que necesitan, para avanzar en su transformación tecnológica de forma ordenada y eficaz.

Este trabajo nace de ver lo importante que se ha vuelto la transformación tecnológica en el sector textil, sobre todo para las pymes, que muchas veces tienen que competir con menos recursos y adaptarse rápido a lo que pide el mercado. Por eso, se empieza con una parte teórica que explica cómo funciona la logística, qué es la industria 4.0 y qué tecnologías están disponibles hoy en día. También se analiza qué ventajas tienen estas herramientas y qué complicaciones pueden surgir al aplicarlas en empresas.

En primer lugar, el grupo Inditex fue seleccionado como caso de estudio porque es una empresa que lleva años liderando el uso de tecnología avanzada en logística. Analizando cómo trabaja Inditex, se pueden ver claramente qué tecnologías ya funcionan bien y están maduras, como los sistemas WMS y TMS, plataformas ERP, robots móviles (AMR y AGV), etiquetas RFID, buenas conexiones digitales, análisis de datos, inteligencia artificial y ciberseguridad. También se identifican otras tecnologías que todavía no han sido usadas por la empresa, pero que podrían ser útiles en el futuro, como los gemelos digitales, Blockchain, Smart Contracts, gafas o sensores para empleados, realidad aumentada o drones.

El siguiente paso del trabajo es aplicar una metodología dividida en dos partes. Primero, se hace un análisis DAFO para estudiar los puntos fuertes y débiles, así como las oportunidades y amenazas de una pyme joven, con poco personal y pocos recursos. Este análisis sugiere que lo mejor para esta empresa es seguir una estrategia defensiva, es decir, centrarse en evitar riesgos y en reforzar lo que ya funciona. Por eso, se filtran las tecnologías a tener en cuenta, eligiendo solo las que ya ha utilizado Inditex, para asegurarse de que son soluciones que realmente funcionan en el sector.

Cada tecnología se clasifica según cómo encaja con una de las cuatro estrategias DAFO: ofensiva, reorientación, supervivencia o defensiva. Esta clasificación se basa en los pros y contras analizados previamente. Por ejemplo, tecnologías como WMS, TMS, ERP, RFID y ciberseguridad ayudan a controlar mejor las operaciones, proteger los datos y reducir riesgos, por lo que se relacionan con la estrategia defensiva. En cambio, opciones más avanzadas como los robots AGV o AMR y los cobots se asocian con estrategias que requieren más inversión, pensadas para empresas con mayor capacidad de adaptación o crecimiento.

En la segunda parte del trabajo se realiza el análisis cuantitativo con el método MCDM, usando la técnica TOPSIS, que sirve para comparar y ordenar las tecnologías seleccionadas. Para hacerlo, se tuvieron en cuenta tres criterios principales: cuánto usan esas tecnologías las empresas líderes del sector deportivo, si encajan con la estrategia DA del análisis DAFO, y el coste medio de su implantación. Se explican todos los pasos seguidos: crear la tabla con los datos, normalizar los valores, aplicar los pesos, calcular qué tecnología se acerca más a la ideal y obtener el resultado final con el índice C^* . Este análisis concluye que las tecnologías más recomendables para una pyme son la ciberseguridad, el RFID y los sistemas de gestión logística, por su buena relación entre utilidad, estrategia y coste.

En resumen, este Trabajo de Fin de Grado ofrece una hoja de ruta estructurada, práctica y adaptable para evaluar el potencial de diversas tecnologías en una pyme del sector textil, concretamente en el nicho deportivo. Al combinar el rigor del análisis académico con un enfoque orientado a la toma de decisiones reales, el modelo desarrollado resulta útil no solo para este contexto específico, sino también como base extrapolable a otras industrias y tamaños de empresa.

This final project aims to identify which Industry 4.0 technologies are most useful for improving logistics in small and medium-sized enterprises (SMEs) in the textile sector. To achieve this, the case of Inditex is used as an example, following a methodology that combines data analysis with a practical approach. The objective is to help SMEs decide which technological tools they can realistically implement, taking into account their resources and specific needs, in order to advance their technological transformation in an organized and effective way.

This project arises from recognizing how crucial technological transformation has become in the textile sector, especially for SMEs, which often have to compete with fewer resources and adapt quickly to market demands. Therefore, the project begins with a theoretical section explaining how logistics works, what Industry 4.0 is, and which technologies are available today. It also analyzes the advantages these tools offer and the challenges that may arise when implementing them in companies.

Firstly, the Inditex group was chosen as a case study because it has long been a leader in the use of advanced logistics technology. By analyzing how Inditex operates, it is possible to clearly see which technologies are already effective and mature, such as WMS and TMS systems, ERP platforms, mobile robots (AMR and AGV), RFID tags, robust digital connectivity, data analysis, artificial intelligence, and cybersecurity. The analysis also identifies other technologies that the company has not yet adopted but could be useful in the future, such as digital twins, blockchain, smart contracts, wearables or sensors for employees, augmented reality, or drones.

The next step in the project is to apply a two-part methodology. First, a SWOT analysis is carried out to study the strengths and weaknesses, as well as the opportunities and threats, of a young SME with a small staff and limited resources. This analysis suggests that the best approach for such a company is to follow a defensive strategy, focusing on minimizing risks and strengthening what already works. Therefore, the range of technologies considered is filtered, selecting only those already used by Inditex to ensure they are proven solutions within the sector.

Each technology is classified according to how it aligns with one of the four SWOT strategies: offensive, reorientation, survival, or defensive. This classification is based on the previously analyzed pros and cons. For example, technologies such as WMS, TMS, ERP, RFID, and cybersecurity help to better control operations, protect data, and reduce risks, and are thus related to the defensive strategy. In contrast, more advanced options like AGV or AMR robots and cobots are associated with strategies requiring greater investment, intended for companies with a higher capacity for adaptation or growth.

In the second part of the project, a quantitative analysis is conducted using the MCDM method with the TOPSIS technique, which is used to compare and rank the selected technologies. Three main criteria were considered: the extent to which these technologies are used by leading companies in the sports sector, their alignment with the SWOT DA strategy, and their average implementation cost (adjusted for easy comparison). All the steps followed are explained: creating the data table, normalizing the values, applying weights, calculating which technology comes closest to the ideal, and obtaining the result with the C^* index. This analysis concludes that the most recommendable technologies for an SME are cybersecurity, RFID, and logistics management systems, due to their favorable balance of usefulness, strategic fit, and cost.

In summary, this Bachelor's Thesis provides a structured, practical, and adaptable roadmap for assessing the potential of various technologies in an SME within the textile sector, specifically in the sportswear niche. By combining rigorous academic analysis with a real-world, decision-oriented approach, the developed model proves useful not only for this specific context but also as a foundation that can be applied to other industries and company sizes.

Agradecimientos	IX
Resumen	XI
Abstract	XIII
Índice	XIV
Índice de Conceptos	XVII
Índice de Figuras	XIX
Índice de Tablas	XXI
1 Introducción	23
1.1. Estructura	24
1.2. Objetivo	25
2 Marco teórico	27
2.1. La Cuarta Revolución Industrial	27
2.2. Logística en el sector retail	30
2.3. Evolución histórica de la logística	32
3 Tecnologías en la logística	35
3.1. Software y Sistemas de Gestión	36
3.1.1 Sistemas de gestión de almacenes (WMS) y de transporte (TMS)	37
3.1.2 Sistemas de integración (ERP)	38
3.2. Automatización y Robótica	39
3.2.1 Almacenes automatizados (AGV/AMR)	40
3.2.2 Robots de picking/sorting y robots colaborativos (cobots)	41
3.3. Big Data, Inteligencia Artificial (IA) y Machine Learning (ML)	42
3.3.1 Modelos de predicción y optimización	43
3.3.2 Gemelos digitales (Digital Twins)	44
3.4. Inteligencia de las Cosas (IoT) y Conectividad Avanzada	45
3.4.1 Sensores inteligentes y dispositivos wearables	46
3.4.2 Infraestructuras de conectividad (redes privadas, Edge Computing y plataformas IoT)	47
3.5. Blockchain y Ciberseguridad	48
3.5.1 Plataformas de DLT/ Blockchain y Smart Contracts	49
3.5.2 Protocolos y estándares de cifrado e infraestructuras de ciberseguridad	50
3.6. Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV)	51
3.6.1 Dispositivos de RA para operarios	52
3.6.2 Simuladores en RV para formación y diseño de layouts	53
3.7. Vehículos autónomos y Drones	54
3.7.1 Vehículos autónomos para larga distancia (platooning e integración V2X)	55
3.7.2 Drones de inspección y entrega	56

4	Impacto de las tecnologías	57
4.1.	Eficiencia operativa y reducción de costes	58
4.2.	Visibilidad y trazabilidad	59
4.3.	Experiencia del cliente	60
4.4.	Sostenibilidad y medioambiente	61
4.5.	Seguridad y gestión de riesgos	62
4.6.	Formación y competencias	63
4.7.	Integración en la cadena	64
5	Caso de estudio: Inditex	65
5.1.	Contexto y perfil de la empresa	66
5.2.	Tecnologías aplicadas en la logística	67
5.3.	Impactos de las tecnologías	69
5.4.	Análisis y conclusiones	70
6	Análisis de las tecnologías	71
6.1.	Análisis DAFO	72
6.2.	Análisis MCDM – Técnica TOPSIS	75
7	Resultados y conclusión	77

Referencias

Glosario

Anexo

ÍNDICE DE CONCEPTOS

Cuarta Revolución Industrial	27
Logística	30
Software y Sistema de Gestión	36
Sistema de Gestión de Almacenes	37
Sistema de Gestión de Transporte	37
Sistema de Planificación de Recursos	38
Automatización	39
Robótica	39
Vehículos automatizados	40
Robots móviles autónomos	40
Robots de picking/sorting	41
Robots colaborativos (cobots)	41
Big Data	42
Inteligencia Artificial	42
Machine Learning	42
Modelos de predicción y optimización	43
Gemelos Digitales	44
Inteligencia de las Cosas	45
Conectividad Avanzada	45
Sensores Inteligentes	46
Dispositivos wearables	46
Infraestructuras de conectividad	47
Blockchain	48
Ciberseguridad	48
Plataforma DLT	49
Smart Contracts	49
Protocolo de cifrado	50
Infraestructuras de ciberseguridad	50
Realidad Aumentada	51
Realidad Virtual	51
Dispositivos de RA	52
Simuladores en RV	53
Diseño de layouts	53
Vehículos Autónomos	55
Drones	56
Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT)	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Línea temporal de las Revoluciones Industriales	28
Figura 2: Evolución tecnológica en la logística	33
Figura 3: Software y Sistemas de Gestión en la logística	36
Figura 4: Brazos robóticos en la logística	39
Figura 5: Big Data y Análisis de Datos en la logística	42
Figura 6: IoT y Conectividad Avanzada en la logística	45
Figura 7: Blockchain en la logística	48
Figura 8: Realidad Aumentada y Realidad Virtual en la logística	51
Figura 9: Vehículos Autónomos y Drones en la logística	54
Figura 10: Centro logístico del grupo Inditex	65
Figura 11: Logos de las marcas que componen Inditex	66
Figura 12: Infografía de la presencia de Inditex en el mundo	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Gráfico del flujo de trabajo para la consecución del objetivo del proyecto	25
Tabla 2: Matriz de Análisis DAFO	72
Tabla 3: Matriz DAFO de tecnologías 4.0	73
Tabla 4: Tabla Excel resultado del criterio de adopción sectorial	74
Tabla 5: Tabla Excel criterio de puntuación de alineación con estrategia DAFO	74
Tabla 6: Tabla Excel criterio de coste de implantación	76
Tabla 7: Tabla Excel matriz de decisión	76
Tabla 8: Tabla Excel final del ranking TOPSIS	77

1 INTRODUCCIÓN

La innovación es la clave del progreso.
— Bill Gates —

Hablar hoy de logística en el sector del retail es hablar de uno de los engranajes más complejos de una compañía y de una de las áreas que requieren mayor estrategia. La logística ya no consiste solo en mover mercancías de un punto geográfico a otro o en gestionar los inventarios, la logística se ha convertido hoy en día en una herramienta competitiva clave, donde la adaptación y la innovación son fundamentales.

Además, la forma de compra de las personas se ha modificado drásticamente debido, entre otros factores, a la aparición del comercio electrónico; esto ha hecho que el consumo sea cada vez más global, inmediato y personalizado. Esta transformación ha forzado a reconsiderar cada elemento de la cadena de suministro, y por ello considero que la incorporación de la tecnología se ha vuelto un factor clave en el desarrollo logístico.

Tras un tiempo de experiencia profesional en este entorno, he podido tener la oportunidad de observar de cerca cómo las transformaciones tecnológicas en el sector están modificando no solo el modo en que las empresas operan, sino también las expectativas de los clientes. La rapidez de las entregas o la trazabilidad de los pedidos, por ejemplo, han dejado de ser un valor añadido y se han convertido en condiciones mínimas de ejecución para las empresas o requisitos esenciales para el cliente. Por ello, para que cualquier empresa logre sostenerse en el tiempo y pueda en el futuro tener poder de competición, es fundamental contar no solo con una logística sólida, sino también con una logística innovadora.

Consciente de la gran variedad de perspectivas desde las cuales se puede abordar el estudio de la logística, me parece interesante enfocarlo desde el punto de vista tecnológico, ya que nos encontramos al inicio de la Cuarta Revolución Industrial, una revolución que, a través de la incorporación de nuevas tecnologías en la industria, está transformando vertiginosamente la manera de trabajar de las empresas.

Nos encontramos ante una revolución tecnológica que está alterando la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos.

— Klaus Schwab, fundador del Foro Económico Mundial, sobre *La Cuarta Revolución Industrial*.

Por ello, lo que se presenta en este trabajo no pretende ser un análisis exhaustivo, sino un esfuerzo por delinear las principales líneas que definen la trayectoria de la logística debido a las innovaciones tecnológicas, con el fin de conocer los desafíos que tendrá la logística en el futuro y, por tanto, también todos los retos que enfrentará trabajar con estas innovaciones además de resolver el objetivo principal que tiene este trabajo.

1.1. Estructura

Este trabajo, titulado *Análisis de las tecnologías en la logística del retail*, se ha estructurado en siete capítulos, siendo cada uno de estos fundamentales para abordar una parte importante del estudio.

El trabajo comienza con la **Introducción** donde se contextualiza el tema al exponer la relevancia actual de la logística en el contexto histórico en el que nos encontramos y el motivo de la elección de este tema y de la elección de la perspectiva desde la cual se abarca. En este mismo apartado, se detalla la estructura para aportar una mayor claridad y posteriormente se expone los objetivos que se quiere alcanzar con la realización del trabajo.

En el **Marco Teórico** se desarrollan los fundamentos teóricos clave y necesarios para una mejor comprensión de los capítulos siguientes. Se responde a preguntas como: ¿en qué contexto histórico nos encontramos?, ¿qué es la Cuarta Revolución Industrial?, ¿qué se entiende por logística?, ¿cómo ha evolucionado la logística a lo largo del tiempo? Las respuestas a todas estas preguntas son las que se han querido investigar para tener una base sólida antes de entrar en aspectos más específicos.

El siguiente capítulo se centra en las **Tecnologías aplicadas a la logística**, explicando las principales tecnologías que están transformando la manera de operar en este campo, desde el software y los sistemas de gestión de almacenes y transporte, la automatización y la robótica para almacenes automatizados y robots colaborativos, el Big Data, la Inteligencia Artificial y el Machine Learning para la predicción de la demanda, la optimización de rutas y los Digital Twins, el Internet de las Cosas y la Conectividad Avanzada para sensores inteligentes e infraestructuras de conectividad, el Blockchain y la Ciberseguridad para la trazabilidad de los envíos y contratos automatizados, la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual para operaciones y simulaciones hasta los vehículos autónomos y drones para inspecciones y entregas finales. Cada una de estas tecnologías se explica presentando sus posibles usos o aplicaciones en lo que concierne a la logística. Además de los beneficios que se obtienen con su integración, se analizan también los retos que conlleva.

La siguiente incógnita que se plantea es: ¿y qué consecuencias está teniendo el uso de estas tecnologías en la logística? La respuesta a esta pregunta constituye el capítulo **Impacto de las tecnologías**. Se evalúa cómo la implementación de estas tecnologías influye en la eficiencia operativa y gestión de costes, visibilidad y trazabilidad, experiencia del cliente, sostenibilidad y medioambiente, seguridad y gestión de riesgos, formación y competencias y, por último, en la integración en la cadena buscando saber qué posibles ventajas aportan y en qué se traduce el uso de las tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial en la logística empresarial.

Una vez concluida la parte teórica, se pasa a una sección un poco más práctica. El capítulo **Caso de estudio: Inditex** se centra en estudiar una de las empresas más relevantes del sector del retail dentro de la industria textil, no por su gran volumen de ventas sino por su carácter vanguardista en la adopción de tecnologías en sus procesos logísticos en la industria textil. En primer lugar, se describe la compañía con el fin de contextualizar el caso real que se va a estudiar. A continuación, se exponen las tecnologías que la compañía utiliza, explicando los ejemplos reales y un análisis de la aplicación de las tecnologías que supone su implementación. Por último, se presentan los hallazgos y las conclusiones obtenidas a partir del caso de estudio.

El capítulo de **Análisis de las Tecnologías** resume las principales debilidades y amenazas junto a las fortalezas y oportunidades clave para evaluar los desafíos presentes de la integración de estas innovaciones en la logística.

Finalmente, en el séptimo y último capítulo **Conclusión**, se presentan las ideas clave extraídas durante el desarrollo del trabajo y también las posibles líneas de investigación futuras que podrían ser exploradas debido al continuo avance tecnológico en el que estamos inmersos y al gran dinamismo que caracteriza a la industria.

La estructura planteada en este trabajo ha sido diseñada para abordar el tema desde dos enfoques diferentes: uno más teórico para comprender los fundamentos y otro más práctico, a través del estudio y análisis de un caso real con la empresa Inditex para comprender la implementación práctica de las tecnologías en un entorno empresarial real y ofrecer *insights* específicos sobre las estrategias y prácticas exitosas en la gestión logística y tecnológica dentro de la industria textil, buscando tener una visión global de la temática con el fin de llevar a cabo el objetivo principal del trabajo que expongo a continuación.

1.2. Objetivo

Este trabajo, *Análisis de las tecnologías en la logística del retail*, tiene como objetivo principal descubrir qué tecnologías 4.0 tienen mayor potencial para una pyme. Para poder alcanzar este propósito, el trabajo de análisis se desarrolla en distintas fases.

En primer lugar, se realiza una revisión teórica que abarca los fundamentos teóricos, el contexto histórico en el que nos encontramos, la logística y, por último, las principales tecnologías de la Industria 4.0 que están ganando relevancia. A partir de este marco, se estudian más en profundidad las tecnologías más relevantes aplicadas actualmente en el ámbito logístico, las soluciones destacadas que aportan, los beneficios que proporcionan, pero también los retos que plantean.

Después se analiza un caso real, el de Inditex, una empresa pionera en la aplicación de tecnología en toda su cadena logística dentro de la industria textil. Investigar este caso permite conocer qué impacto real tienen estas soluciones tecnológicas y obtener conclusiones valiosas para el análisis, además de mostrarnos que tecnologías consideran eficientes y beneficiosas y, por tanto, han decidido implementar en los centros logísticos del grupo y cuales requieren quizás aún mayor madurez para ser implementadas.

Con esta base, se lleva a cabo los análisis. Para ello, se emplean dos herramientas complementarias: un análisis cualitativo a través de una matriz DAFO y un análisis cuantitativo mediante el método MCDM, que facilitará la comparación de distintas tecnologías en función de varios criterios. En concreto, se utilizará la técnica TOPSIS.

A través de esta combinación de estudio de fundamentos teóricos, investigación de caso real y, por último, análisis tanto cualitativo como cuantitativo o metodológico, se pretende determinar qué tecnologías 4.0 dentro del ámbito de la logística resultan más idóneas y viables para su implementación en una pyme, siguiendo las directrices y cumpliendo los requisitos del proyecto especificados en el Anexo.



Tabla 1: Gráfico del flujo de trabajo para la consecución del objetivo del proyecto

2 MARCO TEÓRICO

La logística es el alma invisible de las empresas: cuanto mejor funciona, menos se nota.
— Yossi Sheff —

Antes de entrar a estudiar las tecnologías que están cambiando los procesos de la logística, es necesario conocer el contexto en el que estas transformaciones están teniendo lugar, revisando conceptos desde una visión general. Por ello, se parte de la revolución industrial en la que nos situamos, llamada la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0. Es importante entender también en qué consiste la función de la logística en el sector y, por último, repasar su evolución histórica para observar cómo este campo se ha ido transformando. Conocer estos elementos con anterioridad considero que es clave, ya que ofrece una perspectiva que ayuda a comprender con más claridad el papel que tiene actualmente la tecnología en la logística y a qué es debido.

2.1. La Cuarta Revolución Industrial

Revoluciones Industriales

La historia del desarrollo industrial se divide en varias etapas que vienen marcadas por fuertes avances que transforman la economía, el trabajo y la sociedad. Estos cambios dan lugar a cuatro grandes etapas conocidas como revoluciones industriales:

La Primera Revolución Industrial comenzó en el siglo XVIII y significó el cambio de una producción manual a una impulsada por máquinas, siendo la invención de la máquina de vapor clave en sectores como el transporte y la fabricación. Este hito histórico dio inicio a la industria modernizada y trajo consigo un notable aumento en la eficiencia productiva (Ballou, 2004).

La Segunda Revolución Industrial se desarrolló a finales del siglo XIX y principios del siglo XX debido al aumento significativo del uso de la electricidad, la adopción del modelo de producción en serie (conocido como modelo fordista) y el crecimiento en los sistemas ferroviarios y las comunicaciones telefónicas e inalámbricas. Estos progresos solidificaron el sistema capitalista industrial y establecieron los cimientos para el comercio a nivel mundial (Christopher, 2016).

La Tercera Revolución Industrial se dio en el siglo XX, conocida como la revolución digital, pues trajo consigo la automatización gracias al desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación y de la electrónica e informática. La introducción de la robótica en los entornos industriales y el papel fundamental que comenzaron a desempeñar las computadoras en la gestión empresarial marcaron un cambio significativo en esos tiempos (Rifkin, 2013).

Por último, la Cuarta Revolución Industrial tiene lugar en la actualidad, donde convergen tecnologías digitales, físicas y biológicas en una sinergia única, una revolución que trasciende el mero avance tecnológico para ser una transformación integral en nuestra manera de vivir, trabajar e interactuar entre nosotros.

Según Klaus Schwab, fundador del Foro Económico Mundial, en su obra “La Cuarta Revolución Industrial”, no considera que esta revolución esté impulsada por una única tecnología en particular; más bien es la convergencia de múltiples innovaciones emergentes la que está provocando cambios en industrias completas y cambiando de manera significativa el funcionamiento de las sociedades (Schwab, 2017).

Esta revolución abarca la incorporación de tecnologías como, por ejemplo, el Internet de las Cosas, la robótica, la realidad aumentada, el análisis de grandes volúmenes de datos, la biotecnología, la inteligencia artificial, la impresión 3D y la computación cuántica. Estas herramientas están presentes en todos los ámbitos: económico, político, cultural y social. Su crecimiento es rápido y tiene un impacto global más amplio que las revoluciones previas (Pereira & Romero, 2017).

Una característica única de esta revolución es que no se centra solo en el mejoramiento de procesos ya existentes; va más allá al transformar sistemas completos de producción y gestión. Esta transformación nos lleva a reflexionar sobre cuestiones éticas, sociales y económicas, así como replantear los modelos educativos, laborales y de negocio (Schwab, 2017).



Figura 1: Línea temporal de las Revoluciones Industriales. Fuente: AI, elaboración propia 2025

Características y aspectos clave de la Cuarta Revolución Industrial

Se destacan diversos aspectos que caracterizan esta revolución:

- La **velocidad** del avance tecnológico es asombrosamente rápida en la actualidad, procesos que solían llevar décadas y que ahora son adaptados a nivel mundial en tan solo unos pocos años.
- El **alcance** del cambio impactará a múltiples sectores industriales en lugar de limitarse a un puñado de ellos; abarcará campos tan diversos como la salud, energía, transporte y educación.
- La **profundidad** de la transformación, ya que estamos siendo testigos de transformaciones importantes en los ámbitos económicos actuales y en las estructuras de poder y relaciones sociales existentes, una revolución que no solo redefine nuestras acciones sino también nuestra identidad misma.
- La **convergencia tecnológica** está creando nuevas oportunidades para la innovación al unir tecnologías físicas y digitales junto a la biotecnología. Esto nos lleva hacia escenarios que solían ser solo parte de la ciencia ficción como por ejemplo la unión entre inteligencia artificial y biotecnología.
- Los **desafíos éticos y sociales** que están asociados a estos progresos tecnológicos, destacando el potencial abuso de información personal y la falta de marcos éticos universalmente aceptados.

(Schwab, 2017)

El impacto de la Cuarta Revolución Industrial en la logística

El campo de la logística ha experimentado una profunda transformación debido a la Cuarta Revolución Industrial. En estos últimos años, las compañías han empezado a cambiar por completo la forma en que manejan sus operaciones logísticas. Ya no se trata solo de implementar tecnología por eficiencia, sino de cambiar el enfoque con el que se planifica y coordina todo el proceso. Desde que llega el material a un almacén hasta que el producto final llega al consumidor, cada parte se está reformulando con herramientas más modernas que se conectan entre sí. Esto se nota en el trabajo diario. Hoy no sorprende saber dónde está un pedido en tiempo real. Hace no tanto, eso era imposible. Ahora, con sensores, dispositivos conectados y redes de datos, es posible no solo seguir el recorrido, sino también evitar errores o pérdidas que antes eran bastante comunes (Hofmann & Rüsch, 2017).

En los almacenes, también se están viendo ajustes importantes. Ya muchas empresas han incorporado tecnología para automatizar tareas que antes eran manuales y repetitivas. Aunque las personas siguen participando, estas herramientas han hecho que el trabajo sea más rápido y con menos margen de error, como en los procesos de clasificación y empaquetado. Otra mejora clave es el uso de datos para entender el comportamiento del cliente. Esto permite tomar decisiones más acertadas sobre cuándo y cómo mover los productos y estar mejor preparados para momentos de mayor demanda (Fernie & Sparks, 2019).

Pero no todo son beneficios. Para muchas pymes, acceder a estas herramientas sigue siendo complicado. Los costes de inversión, la necesidad de personal capacitado y el temor al cambio representan barreras reales. A esto se suma el reto de adaptar la cultura interna de la organización para que esté dispuesta a trabajar con modelos más digitales. Además, aunque los avances tecnológicos prometan eficiencia, también abren preguntas sobre la dependencia de sistemas automatizados, la privacidad de los datos y el lugar del trabajador en un entorno cada vez más controlado por algoritmos.

A pesar de estos desafíos, lo que sí parece claro es que la logística está dejando de ser vista como una función puramente operativa. Hoy se reconoce como un área clave para competir y mantenerse vigente en un mercado que cambia constantemente. Saber adaptarse a esta nueva realidad será esencial para cualquier empresa que quiera sostenerse en el tiempo.

2.2. Logística en el sector retail

La logística es una pieza esencial en la organización de cualquier empresa e industria. Su propósito principal es coordinar, de manera eficiente, el recorrido que hacen los productos, servicios e información desde que se originan hasta que llegan al cliente final. Este proceso engloba todo el ciclo: adquisición de materiales, transformación, almacenaje, distribución y entrega (Christopher, 2016).

El Council of Supply Chain Management (CSCMP) describe la logística como el proceso de planificar, implementar y controlar los procedimientos para el transporte y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes, incluidos servicios e información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el objetivo de cumplir con los requisitos del cliente e incluye movimientos entrantes, salientes, internos y externos (CSCMP, 2022).

Esta definición pone en primer plano tres pilares que sostienen toda gestión logística eficaz: planificación, ejecución y control. Estas tres acciones son necesarias para que las distintas piezas de la cadena trabajen juntas de forma ordenada y efectiva. La logística no se limita a una sola actividad, sino que abarca múltiples operaciones que permiten que los productos y servicios se desplacen correctamente. Entre las tareas más habituales encontramos:

- Gestión de inventarios: se trata de mantener la cantidad adecuada de productos para evitar faltantes o excesos que afecten los costes.
- Almacenamiento y manipulación: consiste en guardar los productos en condiciones óptimas y organizarlos para facilitar su acceso y traslado.
- Transporte: es el medio para llevar los artículos desde su origen hasta su destino, seleccionando la mejor opción entre transporte terrestre, aéreo, marítimo o ferroviario.
- Procesamiento de pedidos: abarca todo lo relacionado con recibir, preparar y despachar los pedidos de los clientes.
- Atención al cliente: una logística eficaz busca cumplir con los tiempos prometidos y con la disponibilidad de los productos, lo cual impacta directamente en la experiencia del consumidor.
- Planificación de la demanda: se refiere a anticiparse a las necesidades del mercado, estimando qué productos se requerirán, en qué cantidad y en qué momento, para ajustar los procesos de producción y distribución (Ballou, 2004; Rushton et al., 2022)

La logística tiene como fin garantizar que los artículos lleguen a su lugar de entrega en el momento oportuno, en buenas condiciones y al menor coste posible. En la logística del retail en particular es fundamental para el éxito de cualquier empresa que se dedique a la venta de productos al consumidor final. En un mercado altamente competitivo, la disponibilidad de productos y la atención al cliente son cruciales para que la empresa sea líder en el sector y no se quede rezagada. El sector retail, o también conocido en español como comercio minorista, engloba todos los negocios que venden artículos directamente al consumidor, tiendas tanto físicas como virtuales, por ejemplo, supermercados, tiendas departamentales, boutiques, tiendas de conveniencia y cadenas de distribución masiva. La logística en este sector no solo implica el traslado de productos desde un almacén hasta una tienda, sino también asegurar de manera completa que la cadena de suministro funcione adecuadamente para garantizar que los productos correctos estén disponibles en el lugar y en el tiempo adecuados y en condiciones óptimas (Ferne & Sparks, 2019).

La gestión logística en el sector retail comienza por prever la demanda futura y planificar en consecuencia los productos necesarios en términos de cantidad y tiempo específico requerido para satisfacerla adecuadamente. Estos procesos implican analizar los datos históricos y actuales del mercado junto a las tendencias del consumidor y la estacionalidad; también se consideran las estrategias promocionales y el comportamiento del cliente para anticipar sus necesidades. Un error en esta etapa inicial puede traer consigo problemas como tener exceso o déficit en el inventario disponible o sufrir pérdidas económicas al no poder vender ciertos productos a tiempo debido a la falta de planificación adecuada. Una vez se ha calculado la demanda, se da comienzo al proceso de aprovisionamiento que implica la elección de proveedores y la negociación tanto en precios como en plazos de entrega, además de la planificación detallada para las compras necesarias. En ocasiones es habitual que los minoristas gestionen un gran número de categorías distintas de productos, lo que hace necesario contar con un sistema eficiente y bien organizado para el abastecimiento (Rushton, Croucher & Baker, 2022).

El siguiente paso implica recibir y almacenar los productos en el retail logístico para garantizar una entrada precisa de la mercancía en los centros de distribución o almacenes mediante procesos automatizados de registro y control de calidad y clasificación. La organización del inventario en los almacenes tiene un papel muy importante ya que permite una gestión más efectiva en los procesos de selección de productos (picking) y en los procesos de empaquetamiento (packing), ya que esto facilita la posterior distribución. El transporte es otro elemento que juega un papel importante en el sector del retail, la logística se encarga de organizar las rutas de envíos para entregar en diferentes puntos de venta o consumidores finales de manera efectiva y eficiente en términos de tiempo y costes gracias al uso de tecnologías como los SGT o Sistemas de Gestión del Transporte que veremos más adelante ya que facilitan la planificación de rutas y el control en tiempo real de los vehículos para minimizar el uso de recursos (Grant, Wong & Trautims, 2022).

La logística inversa cada vez tiene más relevancia en el sector del retail, debido a la aparición del comercio electrónico. El concepto de *logística inversa* se refiere a la devolución de pedidos comprados por parte de los clientes, ya sea por defectos que tiene los productos, por errores que ocurre en la entrega o dirección o por insatisfacción del cliente, pues el producto que ha llegado no es como se esperaba, por ejemplo. Una logística inversa que está bien gestionada por parte de la empresa no solo facilita resolver estas devoluciones de manera eficiente, sino que también consigue reducir así el impacto económico y ambiental y asegurar una experiencia satisfactoria para el cliente en cuanto a la devolución. Un aspecto importante es el servicio al cliente en el sector retail. La logística debe adaptarse a las expectativas del consumidor actual que busca entregas rápidas e información precisa sobre sus pedidos, además de opciones de entrega flexibles como puntos de recogida o taquillas inteligentes. La omnicanalidad también representa un desafío logístico significativo al integrar las experiencias de compra tanto físicas como digitales, ya que implica la sincronización de inventarios entre los distintos canales y la gestión unificada de pedidos (Ferne & Sparks, 2019).

Además de eso, la sostenibilidad se ha transformado en una tendencia importante en la cadena de suministro en el sector del retail. Numerosas compañías están aplicando medidas para reducir su impacto ambiental como por ejemplo mediante la utilización de automóviles eléctricos para las entregas en zonas urbanas, embalajes reciclables o diseño óptimo de rutas para disminuir las emisiones de dióxido de carbono, CO₂. Estas actuaciones no solamente satisfacen la demanda de los consumidores que son más conscientes del impacto ambiental, sino que también producen eficiencia y aumentan la reputación de la imagen corporativa (Grant, Wong & Trautims, 2022).

Por tanto, el sector del retail abarca un proceso logístico complejo y amplio que va desde la predicción de la demanda hasta la entrega del artículo y en algunos casos, su retorno. Una logística bien planificada permite que las compañías ofrezcan un servicio mejor, disminuyan gastos, se adapten ágilmente ante cambios en el mercado y mejoren la experiencia del cliente. En un mercado global en el cual los consumidores son cada vez más exigentes y digitales, la logística se convierte en un factor estratégico fundamental para la competitividad y sostenibilidad.

2.3. Evolución de la logística

Lo que hoy conocemos como logística, es decir, la gestión eficiente del movimiento de bienes, servicios e información es una disciplina arraigada en la historia desde tiempos muy remotos. Aunque la palabra "logística" empezó a utilizarse formalmente en contextos militares en el siglo XIX, las prácticas relacionadas con esta disciplina han estado presentes desde las primeras formas de organización humana (Christopher, 2016).

En las antiguas civilizaciones como Egipto y Mesopotamia o en Grecia y Roma ya se contaba desde entonces con sistemas de gestión logística rudimentarios pero funcionales. En Egipto se destacó por su capacidad para coordinar grandes proyectos como la construcción de las pirámides; esto requería un sistema avanzado para transportar y almacenar materiales de forma eficiente y también administrar la mano de obra de manera efectiva. La logística allí implicaba una coordinación minuciosa para la extracción de materiales pesados como piedra y madera desde lugares lejanos mediante transporte fluvial o terrestre antes de su almacenamiento y distribución. En estas civilizaciones antiguas también era fundamental la administración de cultivos y el almacenamiento de alimentos para tiempos de escasez; esto evidencia una marcada atención hacia la planificación de recursos a medio y largo plazo que constituye el centro del pensamiento logístico actual (Bowersox & Closs, 2002).

En la antigua Mesopotamia, el desarrollo de las ciudades se basaba en gran medida en la eficiente gestión logística para administrar los recursos agrícolas y comerciales, lo que facilitaba el almacenamiento y distribución de excedentes. Se destacaron por utilizar tablillas de arcilla para llevar registros contables e inventarios. La civilización griega también realizó contribuciones significativas al campo logístico, especialmente en contextos militares. Los viajes de Alejandro Magno son un buen ejemplo de cómo la logística fue crucial para mantener campañas militares prolongadas gracias a una cuidadosa planificación de abastecimiento y desplazamiento que tuvo en cuenta factores como la geografía del terreno y las condiciones climáticas del lugar enemigo.

Los romanos construyeron una extensa red de carreteras para unir sus territorios y facilitar el movimiento rápido de soldados y mercancías; algo que podríamos comparar hoy en día con un antecedente de la logística moderna para la gestión de la cadena de suministro. También establecieron depósitos estratégicos en estas rutas para garantizar el suministro continuado de recursos esenciales en tiempos de conflicto militar. Además de esto, implementaron primitivos sistemas informáticos como registros y contabilidad en sus operaciones logísticas para poder anticipar las necesidades futuras de abastecimiento. La incorporación de la logística en la estructura del gobierno romano representa uno de los primeros intentos de establecer la logística como una función organizativa constante (Christopher, 2016).

Durante la Edad Media, aunque las comunicaciones eran limitadas y el poder estaba fragmentado, la logística jugó un papel importante en el aprovisionamiento de tropas, especialmente en las Cruzadas. Con el paso del tiempo, especialmente durante el Renacimiento y el periodo de expansión comercial conocido como la Revolución Comercial, empezó a reconocerse la importancia de mejorar la organización del transporte de mercancías. El auge de las rutas marítimas, la construcción de puertos más modernos y la aparición de instituciones como los bancos y las compañías mercantiles favorecieron una gestión más estructurada de los intercambios comerciales (Ghiani, Laporte & Musmanno, 2004).

Un cambio profundo se produjo durante la Revolución Industrial en el siglo XVIII. La invención de nuevas máquinas, el desarrollo del ferrocarril y la introducción de barcos a vapor provocaron un cambio profundo en la forma de transportar y almacenar mercancías. A medida que crecía la producción industrial, las fábricas se enfrentaban al reto de distribuir grandes volúmenes de productos de manera más rápida y organizada. La necesidad de adaptar los procesos de distribución en un contexto industrial creciente fue el detonante para lo que más adelante se conocería como logística moderna. En ese momento, lo importante era encontrar maneras de organizar mejor los tiempos, disminuir gastos y ordenar cada etapa del flujo de trabajo (Ballou, 2004).

Ya en el siglo XX, la logística empezó a ocupar un lugar más relevante dentro de las organizaciones. Durante las grandes guerras, fue fundamental contar con sistemas que aseguraran el abastecimiento constante, tanto en las líneas de combate como en zonas civiles. Con el paso de los años, surgieron modelos innovadores como el "Just In Time" y nuevas formas de integrar las cadenas de suministro. En países como Japón, estas ideas fueron adoptadas con éxito por compañías como Toyota, que transformaron la forma de operar a nivel logístico (Christopher, 2016).

Hacia las últimas décadas del siglo pasado y especialmente en los años recientes, la expansión global y el avance tecnológico han dado lugar a cambios significativos en esta área. El crecimiento del comercio digital, junto con un consumidor cada vez más exigente, ha motivado a muchas empresas a incorporar herramientas más precisas y automatizadas. Tecnologías como los sistemas ERP, sensores de identificación por radiofrecuencia, robots de almacén, inteligencia artificial y sistemas de geolocalización son solo algunos de los recursos que hoy permiten tener un control más detallado de todo el proceso (Rushton, Croucher & Baker, 2022).

Hoy por hoy, hablar de logística implica mucho más que mover productos. Se trata también de responder a nuevas prioridades, como cuidar el entorno, usar menos energía y brindar un mejor servicio a los clientes. Surgen prácticas como la logística inversa, la entrega en la llamada “última milla” y los centros de distribución automatizados, que muestran un cambio de enfoque. A ello se suman innovaciones constantes como los automóviles sin conductor, los drones de reparto y programas inteligentes que optimizan rutas y tiempos. Estas herramientas no solo se ocupan de desafíos como la reducción de emisiones de carbono y la optimización del transporte en las ciudades urbanas; también permiten predecir perturbaciones en la cadena mediante simulaciones y sistemas de alertas. La logística modernizada se considera esencial para la resiliencia de las economías mundiales frente a eventos como pandemias o conflictos geopolíticos y desastres naturales (Fulfillment, 2021).

En definitiva, la logística ha recorrido un largo camino. El desarrollo histórico de la logística no ha seguido una línea recta, sino que ha sido un proceso continuamente adaptativo desde los antiguos sistemas de transporte hasta las soluciones tecnológicas actuales frente a los cambios políticos, económicos, sociales y tecnológicos y en medio de la transición hacia modelos más sostenibles y digitales. Hoy es una pieza clave para que el engranaje económico mundial siga funcionando.



Figura 2: Evolución tecnológica en la logística. Fuente: AI, elaboración propia 2025

3 TECNOLOGÍAS EN LA LOGÍSTICA

Cualquier tecnología suficientemente avanzada es indistinguible a la magia.
— Arthur C. Clarke —

La transformación digital ha cambiado radicalmente la forma en que funcionan las empresas. En el retail, donde es clave ser ágil, rastrear bien los productos y mantener satisfechos a los clientes, la logística se ha vuelto una parte estratégica que necesita de la tecnología para responder a esas exigencias (Ferne & Sparks, 2019). Hoy en día, automatizar procesos, analizar grandes cantidades de datos y estar conectados en tiempo real ya no es un plus, es algo básico para poder seguir siendo parte del mercado (Christopher, 2016). Este capítulo busca mostrar las tecnologías que están cambiando la forma en que funciona la logística hoy en día. Vamos a ver desde sistemas de gestión hasta dispositivos inteligentes y vehículos autónomos, y cómo cada uno de ellos ayuda a mejorar la eficiencia, adaptarse a los cambios y tomar mejores decisiones. (Ballou, 2004; Chopra & Meindl, 2019).

Para empezar, veremos los sistemas de gestión como el WMS, TMS y ERP. Estas herramientas ayudan a planificar y coordinar mejor todo lo que pasa en la logística, desde el inventario hasta el transporte, permitiendo que las empresas respondan más rápido y mejor a lo que el cliente quiere. (Laudon & Laudon, 2019). Luego, vamos a ver cómo la automatización y la robótica están cambiando la logística. Los almacenes inteligentes con vehículos como los AGV y AMR, o con robots de picking y cobots, ayudan a reducir errores, hacer más en menos tiempo y a que las personas trabajen en mejores condiciones (Bartholdi & Hackman, 2019; Robotics Business Review, 2021). También se analizarán tecnologías como la Big Data, la Inteligencia Artificial y el Machine Learning. Gracias a ellas, las empresas pueden predecir la demanda, organizar mejores rutas, ajustar el inventario y adelantarse a posibles fallos, haciendo que toda la cadena logística sea más eficiente y prepara a los cambios que aparezcan (Waller & Fawcett, 2013; IBM Institute for Business Value, 2021). Por otra parte, tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y las redes de alta velocidad permiten seguir en tiempo real todo lo que pasa con los productos, los equipos y las condiciones del entorno. Sensores, dispositivos portables y conexiones como 5G hacen posible una trazabilidad más precisa y reaccionar más rápido ante cualquier situación (Cisco Systems, 2021; Deloitte Insights, 2021). El uso de Blockchain y las mejoras en ciberseguridad son clave para asegurar que los datos estén protegidos, todo sea más transparente y exista confianza entre quienes participan en una cadena logística cada vez más conectada (PwC, 2021; Supply Chain Management Review, 2022). Por último, se presentarán innovaciones como la Realidad Aumentada, la Realidad Virtual y los vehículos autónomos, que ya están empezando a usarse en la capacitación del personal, la simulación de tareas y la entrega de productos en la última etapa del proceso logístico (Modern Materials Handling, 2021; IEEE Internet of Things Journal, 2021).

En conjunto estas tecnologías están marcando una nueva forma de hacer logística en el retail, todo más conectado, más automatizado e inteligente. Conocerlas a fondo no solo sirve para ponerse al día, sino también para estar un paso adelante frente a lo que viene.

3.1. Software y Sistemas de Gestión

La gestión logística en el sector retail requiere hoy en día una coordinación precisa de distintos procesos interrelacionados, como la recepción de mercancía, el almacenamiento de los productos, la preparación de los pedidos solicitados, el transporte de los pedidos y la entrega al cliente final. Dada esta situación, los programas informáticos y los sistemas gestionan todas las actividades permitiendo visualizar recursos y datos, responder rápidamente ante cambios de demanda y adaptarse a la compleja red global. Los sistemas de gestión utilizan estructuras modulares que incluyen funciones específicas para cada etapa logística mientras promueven la comunicación entre ellas y otras áreas de la empresa también, como por ejemplo finanzas o ventas. Esta unificación de datos lo que hace es eliminar las barreras de información que pueda haber internamente en una empresa y a la vez agilizar la toma de decisiones ya que se dispone siempre de información actualizada y consistente. La inclinación hacia soluciones en la nube y la adopción de APIs estandarizadas también ha mejorado la escalabilidad y flexibilidad de integrar nuevos módulos o servicios de terceros sin tener que cambiar por completo la plataforma actual de la empresa (Laudon y Laudon, 2019).

Por otra parte, la integración de herramientas de análisis avanzado y tableros con los que los trabajadores pueden interactuar ha convertido estas plataformas en sistemas predictivos. Los responsables dentro del área de la logística en particular pueden visualizar en su día a día métricas clave, como el nivel de servicio, la rotación de inventario, la utilización de la flota y los tiempos de ciclo, y recibir alertas automáticas en caso de desviaciones, facilitando así la detección de problemas a tiempo y tomar medidas correctivas antes de que llegue a afectar al cliente o a los costes operativos de la empresa (Chopra y Meindl, 2019; Gartner Research, 2021). La integración de estos sistemas tecnológicos que están emergiendo, como el Internet de las Cosas (IoT) y la robótica amplían sus posibilidades al permitir la planificación y automatización basadas en datos de sensores para procesos críticos. De esta manera, el software de gestión no solo supervisa lo que sucede, sino que también coordina operaciones de manera proactiva y flexible para hacer frente eficientemente a situaciones como picos estacionales o contingencias inesperadas (Ballou, 2004; Deloitte Insights, 2021).

Para que una implantación sea exitosa, se necesita un enfoque integral que abarque la definición de procesos, la calidad de los datos y la capacidad del personal junto a un plan sólido para gestionar el cambio necesario para que el software y los sistemas sean la base para operaciones eficientes y competitivas, tal como lo exige el sector del retail actual.



Figura 3: Software y Sistemas de Gestión en la logística. Fuente: AI, elaboración propia 2025

3.1.1 Sistemas de gestión de almacenes (WMS) y de transporte (TMS)

Los Sistemas de Gestión de Almacenes o WMS (Warehouse Management System) y los Sistemas de Gestión de Transporte o TMS (Transport Management System) son tecnologías que se utilizan en la industria logística para planificar y optimizar las operaciones relacionadas con el manejo de productos dentro y fuera de los centros logísticos. Estas herramientas son muy importantes en el sector del retail, dado el creciente nivel de complejidad en la gestión del inventario y de la demanda, tanto por el aumento de pedidos como por la mayor rapidez de entrega de los pedidos que exige el comercio (Gartner Research, 2021; Supply Chain Management Review, 2021).

El software WMS es una herramienta que ha sido creada para supervisar todas las actividades que estén relacionadas con la operación interna de la logística de un almacén. La función principal de este sistema es facilitar el seguimiento de todo el inventario desde que llega al almacén por primera vez hasta que sale de este, incluyendo desde la ubicación física dentro del almacén logístico, pasando por el proceso de selección y empaquetamiento y hasta el envío final al cliente. Este sistema se basa principalmente en bases de datos centralizadas que permiten un monitoreo preciso de cualquier movimiento de mercancías dentro del almacén en tiempo real (Deloitte, 2020; Ballou, 2004).

Estos sistemas desempeñan varias funciones importantes en el ámbito logístico del retail, las más relevantes son:

- Gestión del inventario en tiempo real que brinda la capacidad de conocer de manera exacta la ubicación, cantidad y condición de cada artículo almacenado
- Agilización del proceso de recepción al verificar cantidades y condiciones, mientras asigna automáticamente las ubicaciones para cada producto.
- Aprovechamiento eficiente del espacio físico mediante una asignación inteligente de ubicaciones.
- Automatización de los procesos de recolección de productos (picking) y de preparación y etiquetado correspondiente para su envío (packing).
- Trazabilidad de cada movimiento del producto para garantizar una visión completa del inventario desde la entrada de cada producto en el almacén hasta su salida.

El software TMS es otra herramienta informática que se centra en la organización, planificación, seguimiento y mejora del transporte. Las tareas principales de estos sistemas abarcan:

- Planificación y mejora de rutas, empleando algoritmos teniendo en cuenta múltiples factores como costes, horarios y limitaciones operativas.
- Supervisión completa del rendimiento y mantenimiento de la flota de vehículos.
- Comunicación de ubicación en tiempo real facilitando la toma de decisiones ante imprevistos surgidos
- Identificación de incidencias permitiendo una gestión de contratiempos en el transporte en tiempo real.
- Análisis del rendimiento con informes que ayudan a la identificación de problemas y a la toma de decisiones.

La implementación de sistemas WMS y TMS trae consigo una variedad de ventajas notables para la gestión logística en el ámbito del sector del retail:

- Reducción de costes de almacenaje y transporte, optimizando el almacenamiento de inventarios y las rutas.
- Reducción de errores mediante seguimiento continuo del transporte y la automatización de procesos.
- Aumento de la capacidad de respuesta ayudando a adaptarse rápidamente a aumentos de demanda.
- Mayor eficiencia automatizando labores repetitivas, permitiendo al personal dedicar su tiempo a actividades de mayor importancia y que añaden mayor valor a la empresa.
- Mayor satisfacción del cliente al permitir realizar entregas más precisas y en menor tiempo.

Los sistemas de WMS y TMS en su aplicación en la práctica cotidiana de las empresas plantean retos significativos que requieren una gestión minuciosa:

- Alto coste de adquisición, implementación y mantenimiento que puede resultar muy costoso para pymes.
- Resistencia al cambio debido a que las nuevas tecnologías implican ajustes culturales y operativos.
- Complejidad en la integración de esta tecnología con otras ya existentes como ERP o CRM.
- Formación continua del personal para utilizar estas tecnologías requiere inversiones periódicas.

3.1.2 Sistemas de Planificación de Recursos (ERP)

Los Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales, también denominados sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), son programas informáticos integrados que facilitan la gestión y supervisión de los procesos fundamentales de una empresa en una misma plataforma tecnológica. Esta solución engloba aspectos variados como el transporte de mercancías y materiales, la fabricación, las finanzas, las ventas, los recursos humanos y el manejo de las relaciones comerciales directas al consumidor final para proporcionar una perspectiva global y unificada de todas las operaciones empresariales (Laudon & Laudon, 2019; Monczka et al. 2020).

Un sistema ERP centraliza y automatiza la administración de todas las operaciones internas y externas de una empresa, para garantizar un flujo eficiente y sin repeticiones en la comunicación e interacción en tiempo real entre los diferentes departamentos mediante una base de datos única y compartida. El sistema ERP colabora además en la optimización de los recursos para mejorar las operaciones y facilitar la toma de decisiones estratégicas basadas en información precisa y actualizada (Deloitte Insights 2021; Supply Chain Management Review, 2022).

En el ámbito de la logística en el sector del retail se destacan múltiples tareas que desempeñan los sistemas ERP:

- Administración global de las existencias, facilitando la planificación del inventario al coordinarse correctamente entre la demanda esperada y el abastecimiento para evitar excesos y roturas de stock.
- Automatización de la planificación de compras y aprovisionamiento simplificando las adquisiciones y garantizando una gestión efectiva desde la solicitud inicial hasta la recepción final de productos y servicios.
- Integración de la gestión de pedidos, facilitando la supervisión en tiempo real de la recepción y envío de pedidos para agilizar el proceso y garantizar la puntualidad en las entregas.
- Optimización de las finanzas y las operaciones ofreciendo recursos para examinar los costes logísticos, administrar presupuestos, supervisar los gastos operativos y aumentar la rentabilidad de la empresa.
- Colaboración entre departamentos favoreciendo la comunicación eficiente entre áreas como ventas, almacén, logística y servicio al cliente, garantizando una coherencia tanto operativa como estratégica.

La correcta aplicación de sistemas ERP trae consigo beneficios significativos para la logística en el retail:

- Aumento de la eficacia operativa mediante la centralización y automatización de procesos que ayudan a reducir notablemente los tiempos de espera y los errores en las operaciones.
- Disminución de los gastos a nivel global disminuyendo la utilización de los recursos y reduciendo los excesos a través de una planificación detallada y un manejo completo del inventario.
- Aumento de la visibilidad en las operaciones supervisando todos los procesos en tiempo real y pudiendo actuar con prontitud y precisión ante cualquier cambio o imprevisto que surja.
- Mejora en la toma de decisiones siendo más rápidas y eficaces, proporcionando datos más precisos.
- Mejora de la satisfacción del cliente al reducir los tiempos de respuesta e incrementar la precisión en las entregas de pedidos.

La introducción de un sistema ERP en el retail plantea importantes retos que requieren una gestión adecuada:

- La adopción de sistemas ERP puede requerir inversiones considerables en software, hardware y servicios de consultoría especializada, sobre todo para pequeñas y medianas empresas.
- La integración técnica y organizativa de los procesos de una empresa en una plataforma unificada demandará una planificación meticulosa y ajustes operativos importantes que deben gestionarse
- Cuando se introducen modificaciones en los procesos de trabajo puede presentarse reticencia al cambio por algunos trabajadores, esto representa un desafío significativo en la gestión del cambio.
- Algunos sistemas de ERP tienen una limitada capacidad de adaptación a los procesos de una empresa, ya que son poco flexibles y no permiten personalizarse de manera ágil
- Es importante proporcionar formación continua a aquellos trabajadores que lo utilizan para que puedan realizarlo de manera efectiva, lo que implica un gasto recurrente para la empresa.

3.2. Automatización y Robótica

La creciente presión en la logística por mejorar la velocidad, la precisión y la seguridad en las operaciones logísticas ha derivado en que la automatización y la robótica se conviertan en elementos clave dentro de la estrategia de una empresa del sector retail (Bartholdi & Hackman, 2019; Deloitte, 2022; International Federation of Robotics, 2022). Estas tecnologías permiten que las tareas repetitivas o físicamente exigentes sean realizadas por máquinas, asegurando un funcionamiento constante y disminuyendo el riesgo para las personas en procesos críticos (Supply Chain Management Review, 2022; Robotics Business Review, 2021). Al mismo tiempo, la colaboración robótica ha permitido la creación de entornos mixtos, en los que personas y robots cooperan de manera sinérgica al combinar la capacidad de adaptación y experiencia del trabajador junto a la fuerza y solidez del robot (Supply Chain Management Review, 2022).

Hay varios niveles de automatización en la industria actualmente, desde sistemas fijos integrados en la línea de producción hasta soluciones modulares y móviles que pueden adaptarse rápidamente según la demanda de la industria, coexistiendo a la vez junto a robots inteligentes que aprenden sus rutas y tareas mediante la Inteligencia Artificial (IA), permitiendo reportar su estado en tiempo real para optimizar su disponibilidad y coordinación eficiente dentro de la cadena productiva (Modern Materials Handling, 2021; Deloitte, 2022). Gracias al uso de estas tecnologías avanzadas en las fábricas actuales, se logra crear un entorno inteligente capaz de ajustarse automáticamente según los ritmos de trabajo y los flujos de materiales necesarios en cada momento (International Federation of Robotics, 2022).

La integración de estas tecnologías no solo reduce los tiempos y errores en el trabajo diario, sino que también ayuda a mejorar las condiciones laborales y la seguridad en las empresas al evitar situaciones muy peligrosas o esfuerzos excesivos para las personas (Bartholdi & Hackman, 2019; Boysen et al., 2018). Además, la introducción de la robótica facilita la expansión operativa durante periodos pico o lanzamientos promocionales, al permitir aumentar rápidamente la capacidad de producción mediante sinergias con los trabajadores ya experimentados (Logistics Management Magazine, 2022). Para optimizar la rentabilidad de dichas inversiones es importante fusionar la automatización con los sistemas de planificación y control de la empresa que ya están en marcha y concebir diseños de distribución en planta que faciliten la movilidad de los trabajadores dentro del almacén logístico. No obstante, también es importante tener presente el mantenimiento predictivo y la formación constante del personal para asegurar que tanto la tecnología como las personas avancen juntos hacia un modelo operativo más resistente (Deloitte, 2022). El proceso hacia la automatización presenta muchos desafíos en términos de inversión económica y de tiempo, en la adaptación al cambio y en la correcta elección de las soluciones automatizadas que puedan crecer con las necesidades de la empresa. Sin embargo, aquellas empresas que logran integrar de forma efectiva la robótica y la automatización en sus operaciones logísticas consiguen mejorar continuamente su productividad, la calidad del servicio que ofrecen y su capacidad para adaptarse ante los cambios del mercado (Robotics Business Review, 2021; Modern Materials Handling, 2021).



Figura 4: Brazos robóticos en la logística. Fuente: AI, elaboración propia, 2025

3.2.1 Almacenes automatizados (AGV/AMR)

Los almacenes automáticos han sido un cambio importante en la logística del sector retail, sobre todo por la integración de vehículos automatizados o AGV (Automated Guided Vehicles) y los robots móviles autónomos o AMR (Autonomous Mobile Robots). Estas innovaciones facilitan una gestión eficiente del almacenaje y desplazamiento interno de productos mediante vehículos que pueden funcionar de forma independiente dentro de instalaciones dedicadas a la logística (Bartholdi & Hackman, 2019; Deloitte, 2022; Robotics Business Review, 2021).

Los vehículos automatizados AGV son utilizados para desplazarse de manera autónoma siguiendo rutas preestablecidas mediante tecnologías de guía como líneas magnéticas o sistemas láser y de visión. Estos vehículos son comúnmente empleados en almacenes o fábricas para el transporte ordenado y repetitivo de mercancías o materiales. En contraste, los robots móviles autónomos AMR son capaces de operar de manera independiente utilizando tecnologías avanzadas de navegación como sensores LIDAR, cámaras y algoritmos de inteligencia artificial. A diferencia de los AGV, los AMR pueden ajustar sus rutas dinámicamente según el entorno, lo que les brinda una mayor flexibilidad para adaptarse a cambios en el almacén u obstáculos (IFR, 2022; Boysen, et al.; Supply Chain Management Review, 2022).

En los almacenes del retail se utilizan AGV y AMR para llevar a cabo diversas tareas fundamentales como:

- Logística interna de mercancías, encargándose de llevar de forma efectiva los productos desde las áreas de recepción hasta el almacén y viceversa hacia las zonas de preparación de pedidos, empaque o envío.
- Automatización de selección de productos al conectarse con sistemas como el WMS y los AMR simplifican los procesos de selección al llevar los artículos directamente al trabajador para empaquetarlos o distribuirlos.
- Reposición automatizada garantiza que los productos se repongan constantemente en lugares específicos para mantener un inventario óptimamente equilibrado.
- Administración efectiva de espacio de almacenamiento que facilita la optimización del espacio mediante movimientos precisos y almacenamiento compactado en estanterías automatizadas.
- Conexión al sistema de inventario que permite rastrear el inventario en tiempo real de forma interactiva mediante la integración directa tanto de sistemas informáticos como de sensores.

La utilización de AGV y AMR proporciona diversos beneficios importantes en la logística del retail, destacando:

- Mejora en el funcionamiento operativo al reducir los momentos de baja actividad y optimizar el movimiento de mercancías para aumentar notablemente la eficiencia laboral.
- Recorte de gastos operativos relacionados a la mano de obra directamente involucrada y a los errores humanos que puedan ocasionar daños en la mercancía durante su manipulación manual.
- Aumenta la precisión y confianza en los sistemas automatizados al reducir errores en el control de inventario y el transporte interno de productos lo que contribuye a una mayor eficiencia operativa.
- Mejora de la seguridad en el trabajo al disminuir los accidentes laborales, especialmente en actividades repetitivas o que involucren la manipulación de cargas pesadas.
- Mayor flexibilidad y capacidad de crecimiento en particular con la utilización de los AMR, la habilidad para ajustarse ágilmente a modificaciones en la demanda o disposiciones internas de las operaciones.

Sin embargo, la implementación de AGV y AMR plantea diversos retos que las empresas deben evaluar:

- Los costes son elevados debido al considerable desembolso necesario para poner en marcha estos sistemas, incluyendo la adquisición inicial de equipos más los gastos asociados con su instalación y mantenimiento.
- La complejidad al integrar tecnología lograr una integración efectiva con sistemas ya en uso como ERP, WMS y TMS puede plantear desafíos técnicos importantes y costosos.
- La resistencia y la capacidad de adaptación de los empleados a los cambios causados por la automatización pueden despertar oposición entre el personal; se necesitan estrategias eficaces para gestionar dicho cambio.
- Mantener sistemas operativos requiere personal altamente capacitado de manera constante, lo que genera costes continuos debido al mantenimiento especializado necesario.
- La dependencia de la tecnología puede representar un riesgo importante en situaciones de fallos técnicos o tecnológicos que requieren planes de contingencia sólidos para hacer frente a posibles interrupciones.

3.2.2 Robots de picking/sorting y robots colaborativos (cobots)

La automatización robótica está transformando la gestión de inventario en el retail a través de tecnologías como los robots de picking y de sorting y los cobots, que son robots colaborativos. Estos avances han sido creados para mejorar y acelerar tareas fundamentales dentro del almacén y aumentan notablemente la eficiencia operativa y la seguridad en el trabajo. Los robots de picking y sorting son sistemas automatizados especializados que llevan a cabo labores de selección y organización de productos dentro de los almacenes. Estas automatizaciones utilizan varias tecnologías avanzadas como brazos robóticos articulados, sistemas de visión artificial, inteligencia artificial y aprendizaje automático para identificar los productos, manipularlos y ordenarlos de una manera eficiente (IFR, 2022; Modern Materials Handling Magazine, 2022; Boysen, Briskorn & Emde, 2018). Los cobots, por otra parte, son robots que han sido diseñados para trabajar colaborando con las personas en un entorno laboral donde se garantiza la seguridad y eficiencia en el trabajo conjunto. Estos aparatos cuentan con sensores avanzados y mecanismos que aseguran la seguridad junto a sistemas inteligentes que posibilitan una interacción fluida y segura con el personal, complementándose y reduciendo las tareas que son muy repetitivas o físicamente exigentes o de riesgo para las personas (Robotics Business Review, 2021)

Las tareas principales que realizan los robots de picking y sorting en el ámbito de la logística son:

- Realizan tareas de selección automatizadas de forma precisa y eficiente, disminuyendo en gran medida los errores habituales de manejo
- Organización y clasificación automática de productos: reconocimiento y separación de artículos en función de diversos criterios como su tipo, tamaño, peso o destino.
- Sistemas de embalaje automatizados que mejoran la eficiencia en la preparación y empaque de pedidos al manipular los productos de manera efectiva y reducir los tiempos de operación.
- Una gestión ágil de inventarios combinándose con sistemas como WMS para efectuar modificaciones en el inventario en tiempo real mientras se realiza el picking, asegurando así que la información esté siempre actualizada y precisa.

En lo que respecta a los cobots en el almacén minorista, sus roles principales incluyen:

- Ayuda con la selección y embalaje, trabajando en estrecha colaboración con los empleados para mejorar los procesos manuales y aumentar la velocidad y precisión.
- Manipulación segura de objetos pesados, ayudando en actividades que implican movimientos repetitivos o manejo de cargas pesadas para minimizar los riesgos laborales.
- Automatización del control de calidad, llevando a cabo inspecciones visuales y manipulaciones precisas para asegurar la calidad de los productos antes de ser embalados para su envío final.
- Facilita la inclusión de tareas adicionales en los procesos de la cadena de suministro al integrarse en las operaciones de ensamblaje o etiquetado para mejorar la eficiencia en las actividades diarias.

La introducción de robots y cobots aportan beneficios significativos en la logística de la industria minorista:

- Aumentar la productividad al automatizar tareas repetitivas resultará en un notable incremento en el volumen procesado por hora y mejorará la eficacia general del sistema.
- Disminución de errores en las operaciones cotidianas gracias a la precisión de los robots que ayuda a minimizar equivocaciones habituales al seleccionar, clasificar y empaquetar productos
- Mejora en la seguridad laboral al asignar labores repetitivas o peligrosas a robots se reduce de forma considerable el riesgo de accidentes laborales.
- La flexibilidad operativa ya que pueden adaptarse fácilmente y ser reprogramados rápidamente para realizar nuevas tareas o procesos. Esto permite una respuesta ágil ante cualquier cambio en las operaciones.

Aunque estas tecnologías tienen muchos beneficios, es fundamental tener en cuenta los desafíos que surgen:

- El alto costo inicial de los robots de selección/clasificación y los cobots implica inversiones significativas en su compra, instalación y mantenimiento inicial, lo que puede resultar un desafío financiero considerable.
- Integración tecnológica compleja: necesitan ser integrados con precisión en los sistemas ya en uso (ERP, WMS), lo que conlleva desafíos técnicos importantes y posibles complicaciones en la operatividad.
- Es crucial que el personal reciba una formación especializada en curso para utilizar de forma efectiva estas tecnologías; esto implica costes continuos tanto en formación como en actualización técnica.
- La dependencia excesiva en la tecnología puede incrementar el riesgo de interrupción en las operaciones cuando se automatiza todo; de ahí la importancia de tener planes sólidos para hacer frente a posibles fallos.

3.3. Big Data, Inteligencia Artificial (AI) y Machine Learning (ML)

La capacidad para procesar y obtener valor de grandes cantidades de datos ha cambiado el panorama logístico del sector retail al impulsar una transición de un enfoque basado en la experiencia hacia otro sustentado en análisis avanzados y automatización inteligente (Waller & Fawcett, 2013; McKinsey & Company, 2020). El Big Data junto a la Inteligencia Artificial (IA) y el Machine Learning (ML) conforman un entorno donde la información generada por sistemas de gestión, sensores y canales de venta se utilizan para desarrollar modelos analíticos que anticipen comportamientos humanos y optimicen recursos para tomar decisiones estratégicas (IBM Institute for Business Value, 2021; Supply Chain Management Review, 2022).

El concepto de Big Data abarca las tecnologías y estructuras necesarias para recolectar, almacenar y procesar conjuntos de información que se caracterizan por las 3V (variedad, volumen y velocidad) en la generación de información relevante. En el ámbito de la logística, estos datos provienen de transacciones realizadas por clientes, historiales detallados del inventario, registros relacionados con métricas como temperatura, telemetría obtenida de vehículos y otras mediciones operativas relevantes. Es vital contar con plataformas escalables como los data lakes y arquitecturas en la nube para poder unir fuentes diversas y asegurar que la información se analiza bajo estándares elevados de calidad y trazabilidad antes de su revisión (Waller & Fawcett, 2013).

La Inteligencia Artificial (AI) ofrece algoritmos que ayudan a reconocer patrones complicados y automatizar la toma de decisiones en distintos sectores como la logística en el retail. En este contexto, la IA ayuda en la organización de rutas de transporte e identificación de irregularidades en inventarios, además de asignar recursos dinámicamente para minimizar tareas manuales y mejorar la respuesta rápida a contratiempos. Los algoritmos de aprendizaje automático también mejoran constantemente sus predicciones y sugerencias al incorporar nuevos datos; esto le permite ajustarse a cambios en el mercado y a los patrones de compra de manera más precisa (IBM Institute for Business Value, 2021; Gartner Research, 2021).

La aplicación de análisis avanzados en la gestión de la cadena de suministro va más allá de simplemente crear informes de históricos. Al integrarse en los sistemas operativos se activan acciones proactivas, como ajustar las rutas ante congestiones o redistribuir inventario según pronósticos en tiempo real, que mejoran la eficiencia y disminuyen los gastos asociados al almacenamiento y transporte (McKinsey & Company, 2020; Supply Chain Management Review, 2022). Este método de trabajo prescriptivo se apoya en paneles interactivos y notificaciones automáticas que hacen que el equipo sea responsable de verificar y adaptar las recomendaciones en lugar de tener que recopilar y procesar los datos manualmente (MIT Technology Review Insights, 2021).

Sin embargo, para sacar el máximo provecho de estas tecnologías se requiere una estrategia de datos sólida, un equipo experto en ciencia de datos y un gobierno que proteja la privacidad y seguridad de la información. La calidad de los datos, la selección de modelos apropiados y la integración con sistemas ya existentes son aspectos críticos para evitar sesgos y asegurar que las predicciones sean fiables y útiles (Chopra & Meindl, 2019).



Figura 5: Big Data y Análisis de Datos en la logística. Fuente: AI, elaboración propia 2025

3.3.1 Modelos de predicción y optimización

Los sistemas de predicción y optimización que se basan en el Big Data y en la Inteligencia Artificial están teniendo un gran impacto en la logística del sector retail ya que permite una gestión más eficiente y con más flexibilidad. Estas innovaciones se nutren de grandes cantidades de información y utilizan unos algoritmos avanzados para anticipar las tendencias futuras del mercado y optimizar el uso de los recursos logísticos a lo largo de toda la cadena (Gartner Research, 2021; Deloitte Insights, 2021; McKinsey & Company, 2022).

Los métodos de predicción y optimización hacen uso de estrategias estadísticas y algoritmos de inteligencia artificial para analizar grandes cantidades de datos históricos y en tiempo real y así anticipan los comportamientos futuros en la demanda de productos o servicios y en las actividades relacionadas con almacén y con el transporte dentro del ámbito de la logística con una mayor precisión. Estos métodos hacen uso de tecnologías de aprendizaje automático como redes neuronales artificiales avanzadas, técnicas de regresión temporal y métodos basados en probabilidades para obtener pronósticos altamente precisos (Wang et al., 2016; MIT Sloan Management Review, 2021). Por otra parte, los modelos de optimización utilizan algoritmos matemáticos avanzados para encontrar la solución más eficiente y efectiva a problemas específicos como la planificación óptima de rutas, la gestión de inventario, la asignación eficiente de recursos y la programación logística. El uso de predicciones y optimizaciones de forma conjunta brinda a las empresas de la capacidad necesaria para poder prever los escenarios de futuro y tomar decisiones fundamentadas en datos en tiempo real (Chopra & Meindl, 2019; Supply Chain Management Review, 2022).

En el área de la logística del retail, los modelos de predicción y optimización tienen varias funciones:

- Predecir la demanda de forma precisa permitiéndose anticipar a los niveles futuros requeridos de productos y permitiéndose así gestionar el stock de forma más eficientemente (evitando excesos o roturas de stock).
- Mejorar el nivel inventario ayudando a establecer las cantidades adecuadas de stock para reducir los costes de almacenamiento y aumentar la rotación de los productos.
- Planificar de forma efectiva del transporte mejorando las rutas y la distribución de cargas para disminuir los gastos operativos y tiempos de entrega y minimizar las emisiones de CO2 a través de rutas más eficientes.
- Identificar de forma temprana los posibles contratiempos logísticos para prever y abordar los problemas antes de que se materialicen.
- Asignar eficientemente de recursos impulsa la distribución de empleados y activos de transporte de acuerdo con las demandas específicas para aumentar la productividad y eficiencia operativa al máximo nivel posible.

La aplicación exitosa de estos modelos en el sector minorista logístico ofrece importantes ventajas:

- Se consigue una disminución significativa en los costes operativos relacionados al transporte y almacenamiento al optimizar los inventarios y rutas junto a la gestión eficiente de recursos.
- Mejora en la precisión y eficiencia operativa: pronósticos precisos y planes óptimos ayudan a reducir errores en las operaciones, agilizan los tiempos de respuesta y aumentan la eficiencia general de la logística.
- Aumenta la satisfacción de los clientes supone poder prever y ajustarse velozmente a las demandas del cliente, lo cual mejora significativamente la calidad del servicio ofrecido.
- Facultan una respuesta veloz frente a alteraciones repentinas en las demandas o circunstancias operativas inesperadas; garantizando así una mayor flexibilidad y fortaleza organizativa.
- Mejora de la sustentabilidad en logística al ayudar en la disminución de emisiones nocivas mediante la optimización de rutas y flujos logísticos más eficientes y respetuosos del medio ambiente.

La aplicación de modelos para predecir y optimizar plantea desafíos que las compañías deben manejar:

- El desarrollo y la validación exitosa de tales modelos involucran un alto grado de especialización en ciencias de datos que puede resultar costoso y difícil de obtener para empresas de tamaño reducido o mediano debido a su complejidad técnica y analítica.
- Lograr una integración eficiente de estos modelos en sistemas ERP, WMS y TMS presenta desafíos técnicos importantes y requiere esfuerzos significativos para su implementación efectiva junto con otros sistemas.
- La exactitud y eficiencia de las predicciones y mejoras están altamente relacionadas con la calidad y disponibilidad de una gran cantidad de datos en muchas áreas de la empresa.
- Se necesitan realizar inversiones significativas en infraestructura tecnológica, adquisición de herramientas analíticas avanzadas y contratación de personal altamente especializado.
- La integración de estas tecnologías en una organización implica realizar grandes cambios en los procesos, lo cual puede tener resistencia interna y requerir estrategias eficientes para abordar esta transformación.

3.3.2 Gemelos digitales (Digital Twins)

Los Gemelos Digitales más conocidos como Digital Twins son representaciones virtuales y cambiantes de elementos físicos como objetos, son unos sistemas que permiten hacer simulaciones precisas al instante. Esta innovación se basa en información obtenida de sensores IoT (Internet de las cosas), IA y complejos modelos matemáticos para poder recrear digitalmente la realidad operativa en un entorno virtual que facilita pruebas para la logística (Gartner Research, 2022; IBM Institute for Business Value, 2021; Grieves & Vickers, 2017). Un Digital Twins replicando la realidad exactamente igual en formato digital de los activos físicos o sistemas completos lo que consigue es vigilar y optimizar el rendimiento en tiempo real mediante el análisis continuado de datos operativos reales provenientes de su contraparte física directamente conectada. Esto posibilita a las empresas llevar a probar escenarios hipotéticos de forma anticipada y así prever problemas potenciales y tomar decisiones más precisas basadas en información fundamentada (Deloitte Insights, 2021; Boschert & Rosen, 2016).

En el área de la logística del retail los Digital Twins desempeñan funciones variadas, destacando:

- Simulación y mejora de almacenes ofreciendo la posibilidad de analizar diversos diseños y estructuras de almacén antes de su aplicación permitiendo optimizar el flujo de productos y disminuir gastos operativos.
- Planificación de rutas de transporte de forma eficiente simulando distintos escenarios logísticos y eligiendo las mejores opciones basadas en información real y situaciones dinámicas.
- Predicción y gestión de las necesidades utilizando modelos predictivos para anticipar cambios en las demandas y ajustar de manera dinámica los procesos logísticos asociados, lo que permite una planificación eficiente del inventario.
- Supervisión proactiva de activos permitiendo monitorear continuamente la condición y rendimiento de los vehículos, de la maquinaria y de los equipos para prever fallos y planificar un mantenimiento preventivo más eficiente.
- La mejora constante de los procedimientos de transporte se realiza mediante la utilización de simulaciones virtuales que posibilitan detectar y solucionar velozmente las falencias operativas en el momento gracias a los gemelos digitales, lo cual impulsa avances continuos en la eficiencia y el rendimiento laboral.

La exitosa aplicación de gemelos digitales aporta grandes ventajas al sector minorista:

- Se puede notar una mejora significativa en la eficiencia operativa cuando se cuenta con la capacidad de simular diferentes escenarios logísticos antes de ponerlos en práctica realmente, lo cual ayuda a evitar errores costosos y a mejorar continuamente los procesos de manera óptima.
- Gracias a simulaciones avanzadas es posible detectar y solucionar ineficiencias de forma rápida y eficiente; lo que se traduce en importantes ahorros en transporte, almacenamiento y mantenimiento.
- Mayor exactitud y fiabilidad en la operación: al tener información precisa sobre los activos y los procesos en lugar de las decisiones basadas en datos exactos se optimiza la gestión del inventario y la distribución.
- Mejora en la capacidad de predecir situaciones futuras y actuar de forma proactiva ante posibles cambios en el entorno de trabajo; esto aumenta significativamente la flexibilidad estratégica.
- La optimización en el mantenimiento predictivo se logra mediante la vigilancia continua para prever averías en activos físicos y así mejorar la disponibilidad y reducir los tiempos de inactividad imprevistos.

Sin embargo, su implementación plantea desafíos significativos para las empresas del retail:

- Necesita realizar inversiones significativas para invertir en hardware de calidad especializado, sensores IoT y plataformas de análisis de grandes cantidades de datos.
- La creación adecuada de Digital Twins requiere de una integración muy compleja entre sensores, información en tiempo real, plataformas analíticas avanzadas junto con sistemas preexistentes ya en la empresa como ERP, WMS y TMS.
- Requiere de una infraestructura tecnológica muy sólida para poder manejar de manera continua grandes cantidades de datos y procesar de forma masiva toda la información, lo que plantea desafíos tanto en almacenamiento como en análisis.
- Realizar modificaciones importantes en los métodos operativos habituales, puede provocar resistencia interna y demandar estrategias efectivas de adaptación a los cambios.
- Necesita tener en la empresa personal altamente cualificado para la correcta operación y maximización de gemelos digitales requiriendo expertos en análisis de los datos y en simulaciones avanzadas.

3.4. Inteligencia de las Cosas (IoT) y Conectividad Avanzada

La capacidad de monitorear y responder a eventos en tiempo real ya no es solo una ventaja competitiva; ahora es un requisito fundamental en el mundo de la logística del retail. En este escenario actual, el Internet de las Cosas (IoT) y las infraestructuras de Conectividad Avanzada son clave para permitir la visibilidad completa de extremo a extremo, la toma de decisiones automatizadas y la gestión eficiente de recursos en toda la cadena de suministro (Gartner Research, 2022; Deloitte Insights, 2021).

Al utilizar dispositivos conectados que recopilan datos sobre el estado de las cosas, como su ubicación o las condiciones que hay en el ambiente, las redes de la empresa deben estar diseñadas para poder manejar grandes cantidades de información rápidamente y sin retrasos significativos. Así las empresas pueden hacer una supervisión de los flujos de productos, activos y equipos críticos en detalle y con frecuencia, algo que antes no se podía ni imaginar. Este monitoreo constante de todos estos elementos permite desde la detección de problemas de manera temprana hasta la planificación de las operaciones de forma dinámica, reduciendo así los tiempos muertos en los operarios o en las maquinarias (Supply Chain Management Review, 2022; Cisco Systems, 2021).

La evolución de las arquitecturas hacia modelos híbridos Cloud-Edge está permitiendo realizar análisis cerca de la fuente de datos, esto permite que ante situaciones críticas que pueda tener la empresa pueden responder rápidamente. Por otro lado, toda la información se guarda en una Nube centralizada para analizar tendencias del mercado y mejorar de forma continua (Deloitte Insights, 2021). La estandarización de unos protocolos a seguir y los usos de APIs abiertas promueve la interoperabilidad entre equipos, haciendo más fácil la integración de sistemas de gestión como ERP, WMS y TMS, creando así una exitosa conexión digital (PwC, 2021).

La Conectividad Avanzada además de garantizar que la transmisión interna de datos sea segura, permite también nuevos enfoques operativos a las empresas, ofreciendo unos niveles de seguridad y de calidad de servicio muy superiores. Por otra parte, la combinación de tecnologías inalámbricas como 5G y Wi-Fi 6 sientan las bases para la implementación extensa del Internet de las Cosas en espacios de gran dimensión. Esta colaboración entre tecnologías fomenta los procesos para que sean más flexibles, permitiendo ajustarse ante cambios en la demanda de manera inmediata, así como a situaciones logísticas o requisitos regulatorios que cambian constantemente, además de permitir implementar gradualmente la automatización y el análisis predictivo (McKinsey & Company, 2022; IEEE Internet of Things Journal, 2021).

Sin embargo, poder aprovechar un entorno conectado tiene grandes desafíos en cuanto a manejo de datos, seguridad cibernética y capacidad de escalación. Hay que implementar unas estructuras en la empresa que consigan un equilibrio entre centralización y procesamiento, y a la vez emplear mecanismos sólidos para gestionar dispositivos y asegurar la confidencialidad y la integridad de los datos, solo de esta forma se garantiza que el Internet de las Cosas se convierta en un valor real y sostenible para las empresas (International Data Corporation, 2021; Gartner Research, 2022).



Figura 6: IoT y Conectividad Avanzada en la logística. Fuente: AI, elaboración propia 2025

3.4.1 Sensores inteligentes y dispositivos wearables

Los sensores inteligentes y los dispositivos *wearables* son una parte fundamental en el entorno de la Internet de las cosas (IoT), proporcionando capacidades avanzadas para monitorizar, seguir y mejorar los procesos de logística en el retail. Estas tecnologías permiten acceder a información muy detalladamente en tiempo real de los productos, del personal, de la maquinaria y de los entornos, lo que facilita una gestión eficiente y segura dentro de las operaciones logísticas adaptándose a las situaciones cambiantes (Gartner Research, 2022; Deloitte Insights, 2021; McKinsey & Company, 2022). Son dispositivos que pueden recolectar información del entorno físico, para luego procesarla internamente o enviarla de forma inalámbrica hacia los sistemas centrales de la empresa para su análisis y posterior utilización en la toma de decisiones (RFID Journal, 2021; PwC, 2021).

Estos sensores abarcan tecnologías avanzadas tales como RFID y NFC; así como también sensores térmicos y de humedad; sensores de proximidad; sistemas GPS; acelerómetros y sistemas de visión artificial. Los dispositivos wearables son gadgets electrónicos de uso personal que se incorporan en la vestimenta o accesorios del usuario y están pensados para capturar y compartir información al instante. En el ámbito de la logística se pueden encontrar dispositivos como gafas inteligentes (smart glasses), relojes inteligentes (smart watches), escáneres portátiles y equipos de realidad aumentada (RA) (Supply Chain Management Review, 2022; MIT Sloan Management Review, 2021).

En el ámbito de la logística del sector minorista, cumplen diversas funciones importantes como, por ejemplo:

- Mezclando tecnologías como las etiquetas RFID y los sensores GPS se logra rastrear los productos en tiempo real para tener un control óptimo del inventario y una visibilidad mejorada.
- Los sensores de condiciones ambientales se encargan de velar por mantener los productos delicados en estado óptimo para prevenir posibles pérdidas debido al deterioro.
- Seguimiento y ubicación de activos logísticos facilitando la localización de equipos vehículos y productos en tiempo real; lo que disminuye la pérdida de objetos y los tiempos de inactividad.
- Los empleados pueden utilizar dispositivos portátiles para recibir indicaciones visuales a través de gafas inteligentes y mejorar las tareas de selección de productos o embalaje en el proceso operativo.
- Los dispositivos portátiles controlan los signos vitales de los trabajadores (cansancio y estrés térmico), lo que ayuda a garantizar entornos laborales seguros y productivos.

La aplicación exitosa de sensores inteligentes y dispositivos para llevar puestos aportan numerosas ventajas:

- Se observa una notable mejora en la precisión operativa al capturar automáticamente datos de manera precisa, lo que resulta en una disminución significativa de errores humanos en actividades clave de la cadena de suministro como el inventario y la preparación de pedidos.
- Mayor facilidad para controlar las operaciones en tiempo real gracias a la captura y transmisión constante de datos que permite una gestión ágil y transparentes de los inventarios y recursos de la cadena de suministro.
- Reducir los costes operativos ayuda a evitar pérdidas relacionadas a errores humanos o daños en productos al mantener un seguimiento continuado y preciso.
- Mejora de la seguridad en el trabajo al observar constantemente a los empleados, se pueden prever posibles riesgos laborales y evitar accidentes gracias a alertas tempranas o acciones oportunas.

A pesar de las numerosas ventajas que ofrecen estas tecnologías, su implementación también plantea retos:

- Los costes son elevados ya que se necesitan realizar inversiones significativas en infraestructura tecnológica y la adquisición de dispositivos y sensores avanzados; además de plataformas para el manejo de datos.
- Integrar estos dispositivos con sistemas ya existentes en la empresa como ERP, WMS y TMS de manera efectiva tiene una gran complejidad técnica y operativa.
- La gran cantidad de datos generados de forma continua por estos sensores demandan una infraestructura tecnológica sólida en la empresa y capacidades avanzadas para analizar y almacenar dichos datos.
- La continua recopilación de datos delicados como por ejemplo los datos personales de los clientes plantea importantes desafíos en términos de protección y seguridad de la información y, por lo tanto, se requieren protocolos avanzados para garantizar la seguridad y confidencialidad de dichos datos.
- Los dispositivos *wearables* pueden causar incomodidad o resistencia entre los trabajadores, por ello es necesario brindar capacitación continua y desarrollar estrategias efectivas que fomenten su adopción.

3.4.2 Infraestructuras de conectividad

Las redes privadas son sistemas de comunicación dedicados que operan de forma independiente o en parte desconectados de Internet público para asegurar altos niveles de seguridad, capacidad y calidad en el servicio (Cisco Systems, 2021; Supply Chain Management Review, 2022).

El Edge Computing implica trasladar una porción del procesamiento y almacenamiento de datos desde el centro de la nube hacia nodos locales cercanos a los dispositivos finales. En un entorno automatizado y conectado como un almacén en funcionamiento continuado; los nodos Edge recolectan información proveniente de sensores específicos para realizar análisis preliminares y llevar a cabo acciones autónomas como controlar robots o emitir alertas instantáneas sin depender del retraso de la nube a distancia (Deloitte Insights, 2021; Huawei Technologies, 2022; McKinsey & Company, 2022).

Las plataformas de IoT son programas informáticos que se encargan de gestionar la conexión, la seguridad y el análisis de datos de dispositivos IoT. Estas plataformas ofrecen opciones para registrar dispositivos, administrar firmas digitales, recopilar telemetría y conectarse con sistemas como ERP, WMS y TMS) o capas analíticas de Big Data e IA (Gartner Research, 2022; IEEE Internet of Things Journal, 2021; Logística Profesional Magazine, 2022).

Las infraestructuras de conectividad tienen diversas tareas en la gestión logística:

- Aseguran la conectividad constante entre dispositivos IoT y *wearables* asegurando la comunicación entre sensores, actuadores y sistemas centrales para la supervisión y control en vivo.
- El procesamiento de datos local mediante Edge Computing permite realizar análisis y dar respuestas al instante para disminuir la latencia y la carga de datos hacia el almacenamiento en la nube.
- Facilitan la configuración inicialización, autenticación y control de dispositivos IoT así como el cifrado de las comunicaciones para salvaguardar la privacidad y la integridad de la información.
- Permiten distinguir entre el tráfico vital (como alertas de seguridad y comandos de robots) y el tráfico menos crítico para asegurar que las operaciones fundamentales no se vean perjudicadas.
- Las plataformas IoT recopilan información de diversas fuentes para simplificar la obtención de datos estandarizados para su análisis en sistemas predictivos, de optimización y de visión empresarial.

La implementación de sistemas de conectividad avanzados brinda múltiples ventajas a la logística:

- Aumento en la confianza operativa, las redes privadas disminuyen las interferencias externas y los cortes en la conexión para garantizar la continuidad en la captura y transmisión eficiente y segura de datos críticos.
- Mejora en la rapidez de respuesta y reducción de la latencia al manejar información directamente en el borde (edge), lo que permite actuar más rápido ante situaciones y mejorar el control de procesos automáticos.
- Las soluciones que utilizan mallas y redes privadas ofrecen la capacidad de integrar numerosos dispositivos IoT sin afectar su rendimiento ni poner en riesgo la seguridad.
- Ahorro de costos en la transmisión de datos gracias al Edge Computing que permite reducir la cantidad de datos enviados a la nube y así disminuir los gastos relacionados al ancho de banda y almacenamiento remoto.
- Las redes privadas y las plataformas de IoT manejan de forma centralizada certificados y claves criptográficas protegiendo datos importantes contra ataques cibernéticos y accesos no autorizados.

Aunque tienen beneficios evidentes, la puesta en marcha de estos sistemas trae consigo desafíos significativos:

- Desplegar redes privadas 5G/LTE y nodos Edge junto con plataformas IoT conlleva un desembolso inicial considerable en términos de hardware necesario y licencias especializadas además de asesoramiento técnico.
- Coordinar diversas tecnologías de red, protocolos de comunicación y estándares IoT (MQTT/OPC-UA/CoAP), presenta un desafío técnico considerable de integración.
- La infraestructura requiere un monitoreo constante y actualizaciones tanto del firmware como del software, solo así se garantizará la seguridad y el rendimiento.
- La instalación de antenas, gateways y nodos edge en los almacenes o en centros de distribución debe tener una planificación cuidadosa para optimizar la cobertura en toda la instalación y minimizar posibles interferencias.
- Optar por tecnologías propietarias de proveedores puede acarrear riesgos de *vendor lock-in* (estar atado a un proveedor) y dificultar posibles cambios o fusionarse en el futuro a nuevas soluciones.

3.5. Blockchain y Ciberseguridad

En el entorno logístico del sector retail que cada vez es más digital y conectado, resultan fundamental garantizar la integridad, la visibilidad y la seguridad de la información tanto para mantener la fidelidad de los clientes y socios, como también para asegurar la continuidad de las operaciones de la empresa (Christidis & Devetsikiotis, 2016; Deloitte Insights, 2021). La combinación de tecnologías de contabilidad distribuida (DLT o Blockchain) con arquitecturas y protocolos avanzados de ciberseguridad establece una base firme tanto para la trazabilidad de los productos, la protección de los datos y los sistemas que mantienen funcionando la cadena de suministro.

Por un lado, la tecnología Blockchain proporciona un registro de transacciones logísticas inalterable y descentralizado que permite la colaboración entre diferentes actores (fabricantes, transportistas, almacenes, distribuidores, tiendas y clientes finales) sin depender de un intermediario central. Al registrar cada evento (recepción, traslado, inspección) en un bloque enlazado criptográficamente, se consigue una visibilidad compartida y segura contra manipulaciones, lo que facilita las auditorías, reduce el fraude y agiliza los procesos administrativos que antes requerían múltiples verificaciones manuales (Kshetri, 2018; Christidis & Devetsikiotis, 2016; Tapscott & Tapscott, 2016).

Por otra parte, el aumento de dispositivos IoT, los sistemas de Warehouse Management System (WMS), Transportation Management System (TMS) y Enterprise Resource Planning (ERP), y las aplicaciones móviles exponen la red logística a riesgos cibernéticos como ransomware, ataques de denegación de datos o brechas de datos. Para hacer frente a estas amenazas, es fundamental implementar protocolos de cifrado seguros como Advanced Encryption Standard (AES), Rivest-Shamir-Adleman (RSA) y Transport Layer Security (TLS), así como arquitecturas de redes, gestión de identidades y accesos, conocida como Identity and Access Management (IAM), sistemas de detección y respuesta ante intrusiones como Intrusion Detection System (IDS), Intrusion Prevention System (IPS) y Security Information and Event Management (SIEM), además de modelos Zero Trust. Estas acciones preservan la privacidad de datos sensibles de las empresas como planos de distribución y datos personales de los clientes, al mismo tiempo que aseguran que los servicios críticos estén siempre disponibles (NIST, 2018; ISO/IEC 27001, 2013; ENISA, 2021).

La colaboración entre Blockchain y ciberseguridad posibilita la automatización de acuerdos comerciales a través de Smart Contracts y garantiza el cumplimiento de estrictas políticas de acceso y cifrado por parte de los nodos de la red y dispositivos conectados. Además de esto, facilita la certificación y auditoría en tiempo real, lo que reduce la complejidad operativa para cumplir normativas como el General Data Protection Regulation (GDPR) o regulaciones internacionales de transporte (Deloitte Insights, 2021; Supply Chain Management Review, 2022). No obstante, alcanzar este nivel digital implica superar desafíos relacionados con estándares comunes y con la interoperabilidad entre plataformas Distributed Ledger Technology (DLT) y sistemas convencionales, además de asegurar una formación especializada para los equipos de TI y operaciones.



Figura 7: Blockchain en la logística. Fuente: AI, elaboración propia 2025

3.5.1 Plataformas de DLT/Blockchain y Smart Contracts

Las plataformas DLT, el Blockchain y los Smart Contracts están empezando a usarse como tecnologías para mejorar la visibilidad, la trazabilidad y la eficiencia de las operaciones logísticas.

La plataforma DLT (Distributed Ledger Technology) son bases de datos distribuidas entre múltiples nodos de una red, de forma que participante tiene acceso a una copia parcial o completa del libro de registros. (Christidis & Devetsikiotis, 2016; Tapscott & Tapscott, 2016).

Blockchain es un tipo específico de DLT en el cual las transacciones se agrupan en bloques que están encadenados mediante funciones criptográficas, esto asegura la integridad temporal y la imposibilidad de modificar los datos (Ballou, 2004; IBM Institute for Business Value, 2020; Gartner Research, 2022).

Los Smart Contracts son fragmentos de código que se almacenan en la Blockchain y se ejecutan automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones predeterminadas, esto permite automatizar procesos como validaciones, pagos y liberación de mercancías directa (Deloitte, 2021; Supply Chain Management, 2022; PwC, 2021)

Las funciones más importantes proporcionadas por las plataformas de Blockchain y Smart Contracts en el área de la logística son:

- Registro inalterable de la cadena de suministro, de manera que cada suceso (recepciones, inspecciones de calidad, envío y recepción) queda registrada en un bloque, brindando una trazabilidad total y que se puede verificar.
- Los Smart Contracts que comprueban diversas condiciones como la temperatura durante el transporte o el tiempo de entrega para luego desencadenar acciones automáticas como realizar pagos o notificaciones.
- La emisión y almacenamiento de facturas electrónicas y otros documentos importantes se realiza en la tecnología Blockchain para disminuir el uso de papel y agilizar la verificación de la autenticidad de estos.
- Las credenciales de los proveedores y transportistas se confirman en la plataforma digital para prevenir la presencia de entidades no autorizadas y asegurar el cumplimiento de las regulaciones.
- Cuando se cumplen las condiciones acordadas como los plazos de entrega y la calidad del producto, los Smart Contracts liberan los pagos de manera automática para agilizar el flujo de pagos.
- La creación de tokens digitales que representan mercancías o contenedores facilitan la gestión precisa, subdivisión y el comercio de inventarios.

La implementación de tecnologías DLTs, Blockchain y Smart Contracts ofrece diversas ventajas:

- Todos los involucrados puedan verificar el progreso de cada transacción en tiempo real a lo largo de toda la cadena de suministro y así fortalecer la confianza entre socios y comerciales.
- La inmutabilidad y el registro de tiempo de cada bloque permite seguir el camino de un producto desde su origen de manera precisa y facilita la gestión de retiros o auditorías del producto.
- La automatización de procesos a través de contratos inteligentes elimina intermediarios en la gestión de documentos y pagos, ahorrando en gastos administrativos.
- Los pagos y liberaciones de documentos se efectúan automáticamente y de manera instantánea al cumplir ciertas condiciones, lo que aumenta la velocidad de las liquidaciones.
- El uso de criptografía de clave pública y sistemas de consenso que evitan alteraciones en los registros y resguardan la integridad de la información mejoran la protección de datos.
- Mediante una plataforma compartida se establece un ambiente de confianza sin depender de intermediarios centralizados optimizando la colaboración interempresarial.

La aplicación de este tipo de tecnologías en la logística se encuentra también ante diversos desafíos:

- Varios sistemas blockchain para uso industrial todavía se encuentran en etapas piloto, lo que podría causar incertidumbre acerca de los estándares y cómo se desarrollará en el futuro.
- La convivencia de varias plataformas como Ethereum, Hyperledger y Corda dificulta la interoperabilidad y la creación de estándares comunes.

3.5.2 Protocolos y estándares de cifrado e infraestructuras de ciberseguridad

Un protocolo de cifrado consiste en un conjunto de normas y técnicas criptográficas que convierten datos a un formato ilegible para los usuarios que no están autorizados a su acceso y luego poderlos recuperar utilizando llaves secretas o contraseñas confidenciales. Algunos de los estándares más comunes en la logística son el EAS, RSA, TLS para protección de comunicaciones en red y VPN e IPsec para establecer conexiones seguras entre puntos (Kshetri, 2018; IBM Institute for Business Value, 2020; Deloitte, 2021).

Las infraestructuras de ciberseguridad son conjuntos de herramientas diseñadas para prevenir, detectar y responder ante incidentes. Abarcan dispositivos y sistemas como firewalls avanzados (NGFW), sistemas de detección y prevención de intrusiones (IDS / IPS), soluciones para la gestión de eventos de seguridad (SIEM), redes segmentadas y modelos Zero Trust, plataformas EDR, así como servicios MFA e IAM (PwC, 2021; Gartner Research, 2022; Ballou, 2004).

En la logística las funciones de los protocolos de cifrado e infraestructuras de seguridad son:

- Protección de las comunicaciones en la red, cifrando el tráfico entre clientes y servidores.
- Cifrado de los datos que están en reposo como bases de datos, copias de seguridad y otros archivos almacenados en la nube como por ejemplo los informes de sensores IoT.
- Autenticación y control de acceso combinando directorios para verificación de identidades de usuarios, aplicaciones y dispositivos, permitiendo aplicar políticas de acceso basadas en roles o atributos.
- Prevención de intrusiones y *malware*, identificando el tráfico e identificando comportamientos anómalos y bloqueando ataques.
- Segmentación de la red impidiendo que un fallo afecte a la totalidad de la infraestructura del almacén
- Gestión de vulnerabilidades mediante sistemas que escanean los dispositivos logísticos para detectar y actualizar componentes vulnerables.

La implementación conjunta ofrece la logística del retail los siguientes beneficios:

- Resguardar la información delicada de los clientes y asegurar que tanto las transacciones como la logística interna estén a salvo de cualquier intento de espionaje industrial o robo de datos.
- Los mecanismos cripto gráficos y las firmas digitales garantizan la integridad de la información para asegurar que no sea alterada sin ser detectada, fundamental para rastrear y validar registros en blockchains.
- La disponibilidad ininterrumpida asegura que WMS, TMS y plataformas de automatización robótica puedan funcionar sin interrupciones incluso frente a ataques.
- Mejorar la confianza en las operaciones es crucial al aplicar normas reconocidas como ISO 27001 y el Marco de Ciberseguridad NIST; esto fortalece la confianza de socios comerciales y clientes.
- Al aplicar la estrategia de Zero Trust y segmentación de red se disminuye el alcance de incidentes de seguridad y se limita el impacto en caso de posibles compromisos.
- Facilitación del cumplimiento normativo y de certificaciones para llevar a cabo auditorías de seguridad y cumplir regulaciones sectoriales que respaldan la madurez en ciberseguridad.

La implementación de protocolos de encriptación e infraestructuras de ciberseguridad se enfrenta a desafíos:

- La integración de herramientas de seguridad en sistemas heterogéneos como ERP, WMS y robots AMR, sensores IoT supone un desafío en términos de complejidad operativa y técnica.
- Invertir en licencias de software y hardware especializado y en servicios de consultoría y capacitación para el personal de tecnologías de la información y operativas representa un desembolso significativo.
- Mantener al día las firmas de detección, reglas de IPS y configuraciones de SIEM ante nuevas variantes de *malware* es un reto constante para las empresas.
- La falta de profesionales especializados en el campo de la ciberseguridad y la criptografía dificulta la cobertura completa de todos los turnos y la capacidad de respuesta ante posibles amenazas.
- La coordinación entre las áreas de IT y OT, tener que asegurar entornos de control industrial como SCADA y PLC añade cierta complejidad al área organizativa pues exige ciertas políticas y procesos

3.6. Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV)

La integración de la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) en el área de la logística en el sector del retail atiende a la necesidad de fortalecer la formación del personal, diseñar espacios más eficientes y dar asistencia inmediata sin tener que detener las operaciones de trabajo. Ambas tecnologías crean entornos digitales que se ajustan al ritmo de los procesos del almacén, permitiendo así probar cambios, entrenar de manera inmersiva y ofrecer información contextualizada sin implicar riesgos para los trabajadores (Gartner Research, 2022; Pantano & Vannucci, 2021; Pizzi et al., 2020).

La Realidad Aumentada incorpora elementos digitales, como planos de trabajo o alertas directamente en la vista del operador para mejorar la realización de tareas complicadas de forma más rápida y precisa en comparación con la situación anterior en la que estas no se perciben hasta que el trabajador se acerca al punto de trabajo donde están los ordenadores. No obstante, la RV sumerge al usuario en un mundo virtual que replica el entorno del almacén para facilitar la simulación de procesos y validar diseños antes de llevarlos a cabo físicamente. Esta habilidad de “realizar pruebas precisas a la acción” resultará en ahorros tanto en tiempo como en costes y también en la disminución de paradas imprevistas (Deloitte Insights, 2021; Supply Chain Management Review, 2022; Pizzi et al., 2020).

Además de la capacitación y el diseño de espacios físicos, la realidad aumentada y la realidad virtual contribuyen a mantener en funcionamiento las operaciones al brindar asistencia remota: los expertos pueden dirigir intervenciones en maquinaria o procesos críticos sin necesidad de trasladarse físicamente. Esto agiliza la resolución de problemas técnicos y reduce el tiempo de inactividad al mismo tiempo que amplía las oportunidades de colaboración entre ubicaciones geográficamente separadas (McKinsey & Company, 2022; IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021). De esta manera, las tecnologías inmersivas facilitan la agilidad logística al permitir adaptaciones rápidas frente a cambios estacionales repentinos o ajustes en la cadena de suministro debido a, por ejemplo, el lanzamiento de nuevos productos de la temporada (Pantano & Vannucci, 2021; Gartner Research, 2022).

El uso efectivo de la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual requiere una estrategia que considere la integración en sistemas de gestión como WMS y ERP, el mantenimiento actualizado de modelos digitales y la definición de indicadores específicos para evaluar el impacto generado por estas tecnologías. Además, se debe garantizar que los dispositivos sean ergonómicos, planificar una cobertura adecuada en redes poco latentes y capacitar al personal en el manejo tanto del hardware como en la interpretación correcta del contenido virtualizado (Deloitte Insights, 2021; Gartner Research, 2022; IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021).



Figura 8: Realidad Aumentada y Realidad Virtual en la logística. Fuente: AI, elaboración propia 2025

3.6.1 Dispositivos de RA para operarios

Los dispositivos de Realidad Aumentada (RA) para trabajadores son una de las tecnologías más emocionantes en la mejora de procesos de almacenamiento en el sector del retail. Estos sistemas integran elementos virtuales en el mundo real al mismo tiempo, mostrando información digital directamente en la vista del usuario (Gartner Research, 2022; Deloitte Insights, 2021; McKinsey & Company, 2022). El dispositivo de realidad aumentada para trabajadores comúnmente se compone de lentes inteligentes o un casco que tiene una pantalla transparente, la cual proyecta gráficos interactivos o videos sobre la escena real. Estos dispositivos incluyen cámaras y sensores de posición, así tecnologías de visión por computadora para identificar objetos o códigos de barras en el entorno físico (IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021; International Journal of Production Research, 2020). El programa de RA analiza los datos recopilados en tiempo real y los integra junto con modelos 3D o información de sistemas interno creando así una experiencia personalizada (PwC, 2021).

Los dispositivos de realidad aumentada desempeñan diversas funciones importantes en la cadena de suministro:

- Orientan al trabajador hacia el lugar preciso de los artículos mediante flechas superpuestas o señales de voz, disminuyendo el tiempo dedicado a buscar y los errores al seleccionarlos.
- Presenta las instrucciones de ensamblaje y embalaje en pantalla para indicar el orden y la manera adecuada de colocar o empaquetar elementos, lo que resultará en paquetes más uniformes y evitará daños.
- Pueden dar formación y capacitación mientras realizan sus tareas diarias (cuando no suponga riesgo para el trabajador) de manera que aceleran su aprendizaje y disminuyen la dependencia de una supervisión.
- A través del reconocimiento automático de objetos y listas de verificación virtuales; los operarios tienen la capacidad de confirmar dimensiones, etiquetado o condición de los productos sin detener el proceso.
- Los técnicos son notificados visualmente sobre qué partes deben ser revisadas y también reciben instrucciones detalladas sobre cómo desmontarlas o diagramas que se superponen a la maquinaria.
- Integración de videoconferencias o transmisiones en vivo para permitir que expertos en otras ubicaciones puedan visualizar lo mismo que el operario y ofrecerle orientación inmediata en situaciones complicadas.
- Advertencias visuales sobre áreas peligrosas y límites de peso permitido ayudan a mejorar la seguridad y comodidad en el lugar de trabajo al prevenir accidentes y lesiones laborales.

La implementación de dispositivos de RA en las operaciones de la cadena de suministro ofrece ventajas:

- Incrementar la eficiencia laboral al disminuir significativamente el tiempo dedicado a búsquedas de información etiquetado o inspecciones permite gestionar un mayor volumen de pedidos por hora.
- Minimización de errores en el proceso de selección y embalaje gracias a las instrucciones visuales y la validación automática de productos; esto ayuda a reducir los gastos asociados a reenvíos y devoluciones.
- La capacitación mejorada mediante la inmersión en el aprendizaje práctico acelera el proceso de adquisición de conocimientos y disminuye la carga a los instructores al facilitar la integración de personal temporal.
- Los procesos pueden ajustarse rápidamente en el sistema de RA para adecuarse a novedades en productos o distribución y a incrementos estacionales de la demanda, dando más capacidad de adaptación y flexibilidad.
- Mejora de la seguridad en el lugar de trabajo mediante la emisión de alertas en tiempo real.
- La mejora en el bienestar de los empleados al simplificar labores difíciles y brindando asistencia contextualizada contribuye a una mejor experiencia laboral al disminuir el cansancio mental y físico.
- La integración con sistemas corporativos permite que la información obtenida mediante la RA se registre automáticamente en WMS/ERP para así ofrecer métricas precisas que impulsan la mejora constante.

Sin embargo, la aplicación de RA para trabajadores también presenta desafíos importantes:

- El costo de comprar y mantener dispositivos de realidad aumentada avanzados y sus licencias de software.
- Los cascos o gafas pueden ser incómodos y pesados cuando se usan durante mucho tiempo seguido y provocar fatiga en el cuello o distracción si su diseño no está bien en términos de ergonomía y comodidad.
- Las limitaciones en la autonomía y la conectividad, como la necesidad de baterías y redes de baja latencia (Wi-Fi 6/5G), requieren una cuidadosa planificación de los puntos de carga y la cobertura constante.
- Integrar la realidad aumentada (RA) en sistemas como WMS y ERP junto a otras plataformas implica crear APIs y modificar flujos de datos; esto podría retrasar la implementación.
- Las cámaras integradas que capturan imágenes del entorno y personal plantean desafíos en cuanto a la protección de datos y el cumplimiento de las normativas de privacidad.
- Mantener el software de RA actualizado y adaptable a nuevas funciones, así como permitir la sustitución del hardware sin interrupciones importantes, requiere un diseño de arquitectura tecnológica sólida y flexible.

3.6.2 Simuladores en RV para formación y diseño de layouts

La Realidad Virtual se basa en la creación de entornos tridimensionales generados por ordenador donde el usuario se sumerge utilizando dispositivos como gafas o cascos equipados de pantallas 3D y sistemas de seguimiento de movimiento (Pizzi et al., 2020; Gartner Research, 2022; Deloitte Insights, 2021). En logística, la realidad virtual permite crear versiones digitales de estantes, pasillos, equipos automatizados y procesos operativos, mostrando una imagen fiel del almacén o centro de distribución (Modern Materials Handling Magazine, 2021; VR Journal, 2022). Los operarios usan controles manuales o dispositivos táctiles como guantes, lo que les brinda una experiencia inmersiva y les permite realizar simulaciones de operaciones sin riesgo de dañar equipos, productos o a ellos mismos (IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2021).

La realidad virtual se utiliza principalmente para entrenar al equipo y la mejora de los espacios:

- Los trabajadores pueden entrenar de forma segura en tareas complicadas como la selección de productos, la conducción de montacargas y el manejo de sistemas automatizados en un entorno virtual sin peligros reales.
- Simulación de situaciones de emergencia repetidas permite recrear escenarios de alto estrés o peligro (como derrames o fallas mecánicas), a fin de practicar las respuestas de seguridad y los protocolos.
- Los sistemas de realidad virtual registran datos como la duración de las tareas repetitivas y los movimientos poco eficientes para crear informes que ayudan en la mejora del rendimiento.
- Los módulos de aprendizaje presentan tutoriales interactivos que guían al usuario a través del contenido para mejorar la retención del conocimiento en comparación a los operarios experimentados.
- Las compañías tienen la opción de evaluar virtualmente diferentes disposiciones de estanterías y áreas de recogida para sus productos antes de realizar modificaciones físicas en sus instalaciones.
- Los simuladores VR crean avatares que representan a los operarios y vehículos, lo cual facilita el análisis de puntos críticos en la producción y la optimización de tiempos y distancias recorridas.
- Antes de implementar AGVs, AMRs u otros sistemas de picking automatizados; es fundamental realizar pruebas de integración para simular su funcionamiento y evaluar cómo afectarán la operativa y la seguridad.
- Al evaluar la ergonomía y accesibilidad mediante la simulación de posturas y movimientos, se pueden reconocer zonas que necesitan modificaciones para disminuir el cansancio y prevenir lesiones.

La implementación de simuladores de realidad virtual ofrece importantes ventajas en la logística:

- Se reducen los costes de capacitación y diseño al evitar la necesidad de prototipos físicos y clases presenciales; esto resulta en ahorros en materiales y desplazamientos.
- La rápida mejora en el aprendizaje se favorecía al sumergirse en un entorno interactivo, lo que facilitaba recordar los procesos y aumentaba la confianza de los trabajadores al abordar tareas reales.
- A través de simulaciones virtuales ágiles se encuentran disposiciones ideales que disminuyen las distancias recorridas y los tiempos de espera en áreas congestionadas.
- Entrenar en un espacio seguro y controlado ayuda a evitar accidentes y errores durante la etapa inicial de aprendizaje, lo que se traduce en menos incidentes en el almacén.
- Es sencillo actualizar los simuladores para incorporar nuevos productos, equipos o procesos y así ajustarse rápidamente a los cambios en la cadena de suministro.
- Los informes producidos por el simulador que proporcionan métricas objetivas para valorizar inversiones y respaldar modificaciones de diseño antes de llevarlas a cabo físicamente.

Incorporar simuladores de realidad virtual en logística no está exenta de importantes desafíos:

- La inversión inicial en hardware y software como cascos de realidad virtual avanzados, trajes hácticos y licencias de plataformas de simulación implica un desembolso considerable.
- El proceso para crear contenido personalizado requiere tiempo y conocimientos especializados junto a una colaboración entre proveedores y modelos virtuales acordes a las necesidades operativas específicas.
- Los formadores y creadores de simulaciones deben recibir capacitación en el manejo de la tecnología de realidad virtual (RV), lo que requiere una inversión extra en su formación.
- La incorporación de la realidad virtual en los programas educativos actuales implica modificar los planes de estudio y horarios existentes y llevar a cabo una supervisión constante para garantizar resultados exitosos.
- Algunos usuarios podrían sentir cansancio en los ojos o mareos debido a la fatiga visual; por lo tanto, es importante fijar límites de tiempo y tomar descansos durante el entrenamiento.
- La actualización periódica tanto del hardware como del software es necesaria para poder sacar el máximo provecho de las nuevas funcionalidades y garantizar la compatibilidad necesaria.

3.7. Vehículos autónomos y Drones

La búsqueda de una mayor eficiencia en la gestión de la cadena del sector retail ha impulsado el avance de soluciones de transporte autónomo tanto en carretera como en el aire. Por un lado, los camiones autónomos para distancias largas buscan revolucionar el transporte entre ciudades utilizando vehículos sin conductor que pueden circular en rutas predeterminadas (SAE International, 2018; Deloitte Insights, 2022; Gartner Research, 2022). Por otro lado, los drones se pueden utilizar tanto para la inspección de almacenes como para entregas de pedidos en la última milla, ofreciendo una opción ágil en aquellas zonas inaccesibles o de difícil acceso para las personas (European Union Aviation Safety Agency, 2020; McKinsey & Company, 2021; IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2021).

La utilización de flotas autónomas y drones requiere una infraestructura de apoyo que comprenda centros de control remoto y puntos de carga rápida, además de corredores de tráfico no tripulados gestionados por Sistemas de Tráfico No Tripulado (UTM). También se necesita la integración de estas soluciones en plataformas logísticas como TMS y ERP para coordinar envíos multimodales y monitorear el estado de la carga. Estas acciones permiten actualizar automáticamente los sistemas de trazabilidad (International Transport Forum, 2021; Logística Profesional Magazine, 2022; Ballou, 2004).

El alcance de estas nuevas tecnologías trasciende la automatización básica. El funcionamiento constante de los vehículos autónomos puede incrementar el uso de recursos, disminuir los tiempos de desplazamiento y reducir las emisiones de CO₂ mediante la práctica de conducción eficiente y la formación de convoyes inteligentes (platooning). En lo que respecta a los drones, dentro de la entrega aérea se puede agilizar la distribución de productos esenciales (desde medicamentos hasta piezas urgentes) y reducir la congestión en la última etapa del trayecto en áreas urbanas que tienen una densidad de población muy alta (McKinsey & Company, 2021; European Union Aviation Safety Agency, 2020).

A pesar de su prometedor potencial, la implementación de vehículos autónomos y drones se enfrenta a desafíos en términos regulatorios, de infraestructura y aceptación por parte de la sociedad. La normativa para la circulación de vehículos automatizados en las calles y el uso de drones en el espacio aéreo compartido requieren marcos legales que aún están evolucionando, mientras que la creación de rutas seguras y estaciones de carga implica inversiones tanto en activos físicos como digitales. Por último, es crucial ganarse la confianza tanto de los usuarios como de las autoridades para poder expandir estas tecnologías de manera estable y segura (International Transport Forum, 2021; European Union Aviation agency, 2020; Deloitte Insights, 2022).



Figura 9: Vehículos Autónomos y Drones en la logística. Fuente: AI, elaboración propia 2025

3.7.1 Vehículos autónomos

Los automóviles autónomos de largas distancias son capaces de funcionar sin la necesidad de un conductor en trayectos interurbanos o de largas distancias debido al uso de sensores sofisticados y tecnología como sistemas de visión computarizada y radares LIDAR junto al GPS altamente preciso y la inteligencia artificial para desplazarse de forma segura y eficiente por carreteras y autopistas (SAE International, 2018; McKinsey & Company, 2021; Gartner Research, 2022, Deloitte Insights, 2022). Su uso en el ámbito de la logística tiene como objetivo mejorar la distribución de productos entre almacenes centrales y puntos logísticos clave (puertos o aeropuertos); todo ello para disminuir tiempos de envío mientras se reduce la huella ambiental (Logística Profesional Magazine, 2022; ITFG, 2021). Estos vehículos también conocidos como camión o tráiler autónomo combinan distintas tecnologías de conducción autónoma calificadas entre el nivel 4 o 5 según la SAE. En el nivel 4 se permite la conducción autónoma en áreas y condiciones preestablecidas sin necesidad de intervención humana; mientras que el nivel 5 implica autonomía total en cualquier entorno. Estos autos cuentan con sistemas de respaldo para frenos y dirección y también incluyen capacidades de comunicación V2V, lo que les permite intercambiar datos con infraestructuras viales como semáforos inteligentes y otros vehículos conectados (Ballou, 2004; MIT Technology Review, 2021). Los vehículos sin conductor de largas distancias cumplen distintas funciones clave en la logística del retail:

- Los transportes intercentros llevan a cabo recorridos entre centros de distribución regionales y nacionales utilizando un nivel mínimo de supervisión humana para facilitar el flujo de mercancías a gran escala.
- Establecimiento de enlaces a puertos y aeropuertos que crean rutas logísticas automatizadas para recoger o dejar contenedores y paletas directamente en instalaciones portuales o aeroportuarios.
- Operan sin descansos permitiendo un funcionamiento constante, aumentando la cantidad de kilómetros recorridos por vehículo en la flota y disminuyendo el tiempo total de entrega.
- Proporcionan información actualizada sobre la ubicación, estado y hora estimada de llegada o ETA (Estimated Time of Arrival) de la carga en tiempo real a los TMS y ERP.
- Con el análisis de tráfico actualizado y pronósticos basados en inteligencia artificial, los vehículos modifican sus recorridos para evitar congestiones o situaciones climáticas desfavorables.
- Mediante una tecnología avanzada que recolecta información sobre el rendimiento del vehículo (temperatura del motor, presión de los neumáticos y desgaste de componentes) planifica mantenimientos.

La implementación de vehículos autónomos en la logística minorista presenta algunos beneficios:

- El aumento en la eficiencia operativa se produce al mantener una operación constante sin interrupciones, mejorando así la utilización de cada vehículo de la flota y acelerando los tiempos de entrega.
- La eficiencia ambiental mejora gracias a la conducción optimizada y la capacidad de formar convoyes, lo que resulta en una reducción en el consumo de energía y las emisiones de CO₂.
- La total transparencia de la cadena de suministro implica una comunicación constante con los sistemas de gestión, lo cual permite rastrear los envíos de forma precisa y facilita la coordinación entre diferentes actores.
- Los operadores tienen la capacidad de ajustar las rutas en tiempo real para satisfacer demandas urgentes o cambios repentinos sin depender de la disponibilidad de conductores.

Sin embargo, la introducción de camiones autónomos plantea varios desafíos:

- En varios países todavía se encuentran en proceso de elaboración las normas y autorizaciones para la circulación de vehículos autónomos en carreteras públicas, lo que crea obstáculos legales y administrativos.
- Se necesitan carretas que cuenten con sensores avanzados y sistemas de comunicación de videovigilancia; además de centros de monitoreos y estaciones automáticas para recargar combustible o energía.
- Lograr un nivel de autonomía seguro en tecnologías complejas implica la utilización de sistemas de inteligencia artificial y sensores adicionales costosos. También se requiere asegurar la fiabilidad ante situaciones desafiantes como lluvias intensas y niebla densas.
- La seguridad de los vehículos conectados es crucial para evitar posibles ataques de piratas informáticos o sabotajes remotos que pongan en peligro el sistema de control y, por tanto, a conductores o viandantes.
- Los usuarios y los gobiernos necesitan confiar en la seguridad de los vehículos autónomos para que sean aceptados socialmente; esto implica llevar a cabo demostraciones exhaustivas.
- La modificación de los procedimientos operativos implica redefinir las responsabilidades del personal al cambiar de flotas convencionales a autónomas.
- A pesar de los ahorros a largo plazo que se pueden obtener, la adquisición y puesta en marcha de vehículos autónomos requiere una inversión inicial considerable que debe ser recuperada a través de un plan operativo.

3.7.2 Drones de inspección y entrega

Un dron o vehículos aéreos no tripulado (VANT), es una nave voladora que puede operar de forma independiente o semiautónoma y cuenta en su equipamiento con sistemas de navegación que se basan en GPS y sensores de proximidad como ultrasónicos u ópticos junto también con cámaras de alta definición y sistemas de comunicación para estar conectado en tiempo real (Deloitte Insights, 2021; IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2021). En el ámbito de la logística del retail se identifican principalmente dos tipos de drones en uso: los drones de inspección destinados a vigilar infraestructuras como almacenes en alturas elevadas o áreas de difícil acceso y los drones de reparto que están diseñados para transportar carga ligera, cubriéndolas distancias cortas o medias y dotados de capacidades de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) o alas fijas (PwC, 2021; McKinsey & Company, 2021).

Los drones utilizados para inspección y entrega desempeñan variadas funciones dentro de la cadena logística:

- Realización de inspecciones en infraestructuras mediante vuelos programados o a solicitud para supervisar la condición de techos, cubiertas de almacenes, antenas y otros componentes de difícil acceso, facilitando imágenes y modelos tridimensionales para labores de mantenimiento predictivo.
- Los drones equipados con cámaras y lectores RFID o sensores ópticos hacen recorridos automáticos por los pasillos y estanterías para indicar las cantidades y ubicación de stock sin interrumpir las operaciones.
- Llevar pedidos pequeños directamente a los hogares de los clientes o a puntos de recogida (conocido como entrega de última milla) para reducir los tiempos y aliviar la congestión en las calles de la ciudad.
- Pueden enviar productos de repuesto, medicamentos o componentes críticos a tiendas o centros de distribución secundarios de manera ágil y eficiente.
- En áreas alejadas o de difícil acceso como regiones rurales montañosas o islas remotas los drones pueden llevar suministros sin depender de carreteras facilitando la logística en lugares dispersos.
- Los datos de vuelos, estado de entrega y telemetría se conectan a sistemas de gestión como TMS o ERP para mantener al día el progreso de los envíos y planificar rutas combinadas (terrestres y aéreas).

La integración de drones para la inspección y entrega en el sector minorista trae consigo múltiples ventajas:

- Las entregas aéreas pueden ser más rápidas que las terrestres en distancias cortas al evitar atascos y rutas complicadas.
- La reducción de gastos en la etapa final del transporte implica un ahorro al disminuir la necesidad de vehículos conducidos por personas y reduce los costos de combustible y mantenimiento.
- El aumento de la flexibilidad operativa se ve reflejado en la capacidad de despliegue inmediato de los drones frente a demandas inesperadas o situaciones de emergencia sin requerir una planificación previa detallada.
- Ampliar la cobertura logística posibilita llegar a áreas alejas de manera eficiente y extender la clientela al mismo tiempo que se mejora el acceso a productos esenciales.
- La sostenibilidad se ve favorecida por el uso de energía eléctrica y trayectorias directas en drones que disminuyen las emisiones de CO₂ y la huella de carbona en comparación a los vehículos de combustible.
- La innovación y la experiencia del cliente se ven potenciadas por el servicio de entrega mediante drones, lo que añade un valor distintivo a la marca y contribuye a mejorar la percepción del cliente.

También enfrentan desafíos importantes en su implementación.

- Está sujeta a regulaciones y normativas aéreas que requieren permisos de autoridades; estas entidades definen restricciones de altura y zonas junto a requisitos de seguridad y licencias para pilotos remotos.
- Solo pueden llevar cargas ligeras (normalmente hasta 5kg) y volar durante períodos de tiempo cortos (15-40 minutos) lo cual afectará su alcance operativo y capacidad de transporte.
- La proliferación de drones en entornos urbanos ha provocado la necesidad de implementar sistemas de Gestión del Tráfico de Drones para prevenir colisiones y coordinar las rutas en entornos complicados.
- Las condiciones climáticas desfavorables como vientos fuertes o lluvias intensas pueden afectar la seguridad de los vuelos y exigen una supervisión constante junto a planes alternativos para aterrizajes seguros.
- El uso de drones equipados de cámaras genera inquietudes sobre la privacidad y la seguridad; por lo tanto, es necesario implementar medidas de protección de datos adecuadas.
- Se requiere disponer de instalaciones automatizadas para despegue/aterrizaje de drones, puntos de recarga o intercambio de baterías, y sistemas de mantenimiento remoto en la infraestructura de soporte.
- La integración tecnológica entre drones y sistemas TMS, WMS y ERPs requiere la creación de interfaces de programación (APIs), protocolos y medidas de seguridad para asegurar la protección y fiabilidad.

4 IMPACTOS DE LAS TECNOLOGÍAS

El verdadero progreso es el que pone la tecnología al alcance de todos.
— Henry Ford —

La llegada de nuevas tecnologías ha cambiado por completo la logística en el retail. No se trata ya solo de mover productos, sino de conectar sistemas inteligentes que mejoren cada parte de la cadena. En este capítulo se analiza cómo estas herramientas afectan a aspectos clave como la eficiencia, la visibilidad, la sostenibilidad, la experiencia del cliente, la seguridad, la formación y la integración.

Cuando hablamos de eficiencia, herramientas como el WMS, TMS y ERP son clave. Ayudan a automatizar tareas, planificar mejor las rutas y controlar el inventario al momento. Todo esto reduce errores, hace que los procesos sean más rápidos y permite tomar decisiones con más seguridad (Christopher, 2016; Frazelle, 2002). Además, con la incorporación de robots y vehículos autónomos, los almacenes trabajan más rápido y mejor, lo que ayuda a bajar los costos y mejorar el rendimiento general (Bartholdi & Hackman, 2019). Cuando hablamos de visibilidad, tecnologías como el IoT y el Blockchain hacen posible seguir los productos en tiempo real. Gracias a sensores, se puede saber dónde están, en qué condiciones viajan y cómo se conservan, lo que mejora tanto el control como la transparencia del proceso logístico (Ivanov et al., 2019). Poder rastrear los productos es clave en sectores donde su estado lo es todo, como en alimentos o cosmética. Herramientas como la realidad aumentada, la inteligencia artificial o los asistentes virtuales ayudan a que los pedidos sean más precisos, haya menos devoluciones y el servicio se adapte mejor a cada persona (Holmqvist, 2017; Berman, 2012). También al conectar estos sistemas con plataformas logísticas, se mejora mucho la atención al cliente, que recibe respuestas más rápidas y eficientes. En cuanto al medio ambiente, la tecnología ha ayudado a que la logística sea más sostenible. Gracias a rutas optimizadas, vehículos eléctricos y drones, se han reducido tanto las emisiones como el uso de energía (Genovese et al., 2017; Srivastava, 2007). Este tipo de medidas responden a lo que cada vez más clientes y mercados piden, procesos más sostenibles. Pero, la digitalización también ha traído nuevos riesgos de seguridad en seguridad. Por eso, muchas empresas han reforzado sus sistemas usando cifrado, redes más seguras y estándares como la ISO 27001. Proteger los datos y contar con sistemas digitales fuertes es clave hoy en día para asegurar que las operaciones no se detengan ante imprevistos (Ivanov & Dolgui, 2020; Jüttner et al., 2007). La tecnología también está cambiando la forma en que se entrena al personal. Con herramientas como la realidad aumentada y la realidad virtual, los empleados pueden practicar en escenarios reales simulados, lo que les permite aprender mejor y más rápido, sin interrumpir el trabajo diario (Pantano & Vannucci, 2021; Deloitte Insights, 2021). Finalmente, gracias a herramientas como las plataformas en la nube, los Smart Contracts y el análisis de datos compartido, las cadenas de suministro están hoy más conectadas que nunca (Chopra & Meindl, 2016; Simchi-Levi et al., 2008).

En resumen, estas tecnologías hacen mucho más que mejorar procesos, están transformando la logística, volviéndola más flexible y clave para el negocio. Entender los diferentes impactos de las tecnologías es clave para responder a lo que necesita la empresa.

4.1. Eficiencia operativa y reducción de costes

La eficiencia en las operaciones y la reducción de gastos es fundamental en la gestión de la cadena de suministro del retail, porque eso afecta directamente a qué tan rentable y competitiva puede ser una empresa. Usar tecnologías de forma estratégica ayuda a mejorar procesos, aprovechar mejor los recursos y bajar considerablemente los costos (Christopher, 2016).

Usar sistemas de gestión como el WMS (Warehouse Management System), TMS (Transportation Management System) y ERP (Enterprise Resource Planning) ayuda a automatizar tareas que antes se hacían a mano, como controlar el inventario, planear rutas de entrega o asignar el personal adecuado. Estas plataformas ajustan dinámicamente la carga de trabajo mediante el análisis continuo de datos en tiempo real para evitar la escasez y minimizar los tiempos muertos, y así reducir los costes asociados a errores y demoras (Frazelle, 2002).

Por otro lado, la automatización y la robótica en los almacenes con robots móviles autónomos (AMRs), vehículos guiados automatizados (AGVs) y robots colaborativos mejoran la eficiencia en tareas importantes como el manejo de mercancías, la preparación de pedidos y la clasificación de productos. Estos dispositivos operan continuamente para disminuir errores y facilitar el manejo de mayores volúmenes de productos en menos tiempo, lo que resulta en ahorros significativos en cuanto a costes derivados de devoluciones o reparaciones (Frazelle, 2002).

La inteligencia artificial (IA) y el análisis masivo de datos brindan pronósticos confiables sobre la demanda mediante el historial de ventas y las tendencias del mercado, junto a factores externos relevantes para las empresas en la gestión eficiente del inventario para evitar situaciones como tener demasiado stock que genere gastos innecesarios por almacenamiento o la obsolescencia, así como también asegurar que no falte producto durante períodos críticos que puedan afectar las ventas, mejorando así su capacidad para adaptarse a cambios repentinos en la demanda, llamados picos de demanda. Además de esto, los gemelos digitales posibilitan simular operaciones de la cadena de suministro en su totalidad en un entorno virtual. Antes de llevar a cabo modificaciones en la práctica, las organizaciones tienen la oportunidad de evaluar diferentes disposiciones de almacén, rutas de transporte y asignación de recursos, identificando y solucionando deficiencias sin tener que asumir costes adicionales debido a pruebas fallidas (Waller & Fawcett, 2013).

El Internet de las Cosas (IoT) se ve reforzado por sensores inteligentes y dispositivos portátiles que supervisan el estado de equipos y productos junto a variables ambientales como la temperatura y la humedad. Cuando se detectan anomalías, por ejemplo, variaciones de humedad y temperatura en almacenes, se generan alertas automáticamente para tomar medidas preventivas y evitar pérdidas en prendas delicadas a la humedad, como abrigos de lana y accesorios de cuero o seda, o prendas delicadas a la temperatura, como materiales sintéticos. Estas acciones ayudan a reducir los costes asociados a los daños en los productos. (Shrouf et al., 2014).

La tecnología de Blockchain mejora la eficiencia operativa a través de contratos inteligentes (smart contracts), los cuales automatizan tareas como facturación y verificación de entregas y pagos cuando se cumplen determinadas condiciones acordadas previamente. Al eliminar intermediarios y procesos manuales innecesarios se agilizan los flujos administrativos y se reducen notablemente los costes financieros y de auditorí (Jüttner et al., 2007).

Por último, se ha visto una reducción de los costes de combustible y mantenimiento en el transporte gracias a la introducción de vehículos autónomos y drones tanto para distancias largas como cortas. Además de optimizar los tiempos de entrega, se ha observado mejor rendimiento en la flota mediante el platooning de camiones autónomos y una disminución en el consumo general. Por otra parte, los drones han demostrado su utilidad al esquivar el tráfico de la ciudad y entregar paquetes livianos de forma rápida, ayudando así a bajar los gastos logísticos y reducir el trabajo manual. (Christopher, 2016)

En resumen, combinar bien estas tecnologías en la distribución ayuda a trabajar con más rapidez, gastar menos y responder mejor a los que hoy pide el mercado y los clientes.

4.2. Visibilidad y trazabilidad

Hoy más que nunca, la visibilidad de los productos y el rastreo son fundamentales en la gestión de la cadena de suministro del retail. Tanto los operadores como los consumidores necesitan información clara y en tiempo real, y eso ha llevado a implementar tecnologías que permiten seguir cada producto desde su origen hasta su entrega final. Tener esa visibilidad total mejora el servicio, evita errores, reduce pérdidas y hace un uso más eficiente de los recursos (Sousa & Rocha, 2019).

Sistemas como ERP (Planificación de Recursos Empresariales), WMS (Sistema de Gestión de Almacenes) y TMS (Sistema de Gestión del Transporte) ayudan muchísimo porque juntan toda la información logística en un mismo sistema digital al que todos pueden acceder. Así, cada parte del equipo puede ver en tiempo real qué hay en stock, qué pedidos faltan y cómo están organizadas las rutas de entrega. Gracias a esta integración tecnológica entre sistemas logísticos, las empresas están habilitadas para tomar decisiones rápidas e informadas en tiempo real: tales como redirigir un envío o prevenir posibles roturas en el stock disponible para la venta (Papazoglou et al., 2007).

La trazabilidad se ve considerablemente mejorada por la integración de la tecnología Blockchain. Gracias a esta tecnología, se puede dejar registro de cada momento clave en la cadena de suministro, desde que se recibe un producto hasta que llega al cliente, en bloques de datos que no se pueden modificar y que todos los involucrados pueden ver. Esto ayuda a aclarar dudas sobre de dónde viene el producto, qué recorrido hizo y en qué estado está, generando un nivel de confianza sólido y verificable. El emplear contratos inteligentes también posibilita la automatización de ciertas comprobaciones y el desencadenamiento de pagos, disminuyendo la carga administrativa y el peligro de equivocaciones humanas. Al mismo tiempo que se emplean drones y vehículos autónomos para mejorar la visibilidad operativa, también se incrementa su utilidad en otros aspectos como el inventario físico en almacén, escaneando estanterías para minimizar errores en los recuentos y así garantizar datos confiables que respaldan decisiones informadas (Kshetri, 2018; Tian, 2017).

La inteligencia artificial y el análisis de grandes cantidades de datos ayudan a mejorar estas funciones al procesar la información que generan los sensores y sistemas logísticos. Con el uso de algoritmos de aprendizaje automático, se pueden anticipar problemas como demoras por mal tiempo o atascos en ciertas áreas. También es posible detectar modelos de ineficiencia en las rutas de transporte o puntos críticos donde se experimentan tasas más altas de daños o pérdidas de productos. Los gemelos digitales, empleados para reproducir virtualmente las operaciones físicas en tiempo real, muestran la disposición de los productos y la actividad de los equipos junto al flujo de mercancías. No solo controlan lo que está pasando ahora, también ayudan a prever lo que podría pasar más adelante, como posibles atascos en el proceso, y permiten tomar decisiones con información real y confiable (Sousa & Rocha, 2019).

El Internet de las Cosas (IoT) ha cambiado por completo la forma en que vivimos y trabajamos. Con sensores inteligentes, etiquetas RFID y GPS, ahora se puede saber exactamente dónde está cada producto y en qué estado se encuentra, en tiempo real (Atzori et al., 2010). Esta capacidad permite seguir de cerca cada parte del proceso logístico. Con herramientas como el 5G y el Edge Computing, los datos se actualizan al instante, lo que hace más fácil detectar cualquier problema a tiempo. Lo mejor es que eso también le llega al cliente: puede ver dónde está su pedido, revisar el historial del producto e incluso comprobar si tiene certificados de calidad o sostenibilidad. Esa transparencia no solo mejora su experiencia, sino que también genera más confianza en la marca, algo clave hoy en día, cuando los consumidores valoran empresas responsables y comprometidas con el medioambiente.

En resumen, con la integración de dichas tecnologías en el retail permiten ver y seguir lo que pasa en la cadena de suministro en tiempo real. Esa visibilidad y trazabilidad conseguida hace que las empresas puedan tomar mejores decisiones, evitar errores y fortalecer la relación con los clientes y socios.

4.3. Experiencia del cliente

Mejorar la experiencia del cliente se ha vuelto un punto clave. Hoy en día, los consumidores quieren rapidez y servicios que se adapten a sus necesidades. Por eso, la logística tiene que evolucionar y convertirse en un puente eficiente entre empresa y cliente. Al aplicar tecnologías en cada etapa de la cadena de suministro, se puede brindar un servicio más ágil, confiable y personalizado, que no solo mejora la experiencia, sino que también ayuda a ganar su lealtad (Berman, 2012; Holmqvist, 2017).

Poder anticiparse a la demanda gracias a la inteligencia artificial y el análisis de grandes volúmenes de datos es clave para que las empresas tengan siempre disponible el producto que el cliente necesita (Côte-Real et al., 2017; Wang et al., 2018). Al fusionar datos históricos sobre ventas y tendencias del mercado junto al comportamiento *online* de los usuarios y factores externos como la temporada o estrategias publicitarias específicas, se logra que las tiendas puedan prever acertadamente qué productos serán demandados en qué cantidades y en qué momento preciso será necesario tenerlos disponibles. Estas prácticas reducen la falta de existencias para asegurar que los clientes siempre encuentren los productos deseados y disminuyen las cancelaciones por falta de stock. Por otra parte, la eficiencia en la preparación de pedidos dentro de un almacén se ve mejorada gracias a la integración de WMS junto a robots móviles autónomos y *cobots*, lo cual tiene un impacto directo en el tiempo total de entrega del producto final. Estas soluciones basadas en inteligencia artificial contribuyen significativamente a la optimización de la planificación de rutas para la recolección de productos y su agrupación eficiente; además, facilitan la carga de palés, agilizando las actividades internas y reduciendo errores en la selección de productos. Al acortar el tiempo desde que se recibe el pedido hasta que se despacha el producto al cliente, las empresas pueden proporcionar plazos de entrega más breves e incluso servicios de *same-day delivery* (entrega en el mismo día), lo cual constituye una ventaja competitiva importante en áreas urbanas (Ivanov et al., 2019).

Los compradores también aprecian la transparencia durante todo el proceso de compra y entrega de productos. El Internet de las Cosas (IoT) y las plataformas de seguimiento en tiempo real permiten a los clientes monitorizar el progreso de sus pedidos desde el depósito hasta su destino final (Holmqvist, 2017). Gracias a notificaciones automáticas mediante mensajes de texto o correo electrónico, que incluyen enlaces a mapas interactivos que muestran la ubicación precisa del repartidor o dron, se reduce la incertidumbre y se aumenta los niveles de satisfacción del cliente. Esta facilidad también brinda a los clientes la posibilidad de modificar sus pedidos programados o alterar los lugares de recogida e incluso sincronizar horarios más cómodos, lo cual añade un toque personal que fortalece la conexión emocional hacia la marca. De igual importancia, emplear la tecnología Blockchain para registrar cada fase del proceso de envío brinda una capa extra de confianza para los clientes que pueden consultar un historial inalterable que respalda el origen de los productos y las condiciones en las que fueron almacenados (como temperatura y humedad), así como la calificación en términos de sustentabilidad asociada a cada transporte realizado (Ivanov et al., 2019). Esta transparencia puede resultar especialmente valorada en sectores como la cosmética natural o la industria de productos ecológicos, donde los consumidores demandan garantías sobre la trazabilidad del producto.

La realidad aumentada (RA) mejora la experiencia al brindar a los consumidores la oportunidad de interactuar previamente a la compra de productos específicos, como probar un mueble en su hogar antes de decidirse por él o seleccionar la talla adecuada de una prenda de vestir; esto reduce las devoluciones y aumenta la satisfacción del cliente (Holmqvist, 2017). Al mismo tiempo, los *chatbots* y asistentes virtuales alimentados por inteligencia artificial brindan un servicio de atención al cliente disponible las 24 horas, los siete días de la semana, respondiendo consultas relacionadas con el estado de los pedidos o entregas próximas e incluso realizando cambios o gestionando reclamos de forma automatizada. Al conectarse directamente a los sistemas WMS y TMS, estos asistentes virtuales pueden ofrecer información precisa al instante, disminuyendo así los tiempos de espera en la atención al cliente, derivando al departamento correcto y permitiendo que los recursos se enfoquen en casos más complejos que requieren mayor atención y precisión.

La utilización de todas estas tecnologías, coordinadas integralmente, hace que la cadena de suministro ya no sea simplemente un soporte operativo, sino que se convierte en un factor estratégico para diferenciarse y fidelizar al cliente en el sector del retail (Holmqvist, 2017; Berman, 2012).

4.4. Sostenibilidad y medioambiente

La sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente han ido adquiriendo un papel importante en la logística del sector retail en estos nuevos tiempos. Hoy en día, los consumidores y la sociedad en su conjunto demandan prácticas responsables y las regulaciones ambientales ejercen presión sobre las empresas para que reduzcan su impacto ambiental. En este contexto, la implementación de tecnologías avanzadas ofrece soluciones clave para optimizar los recursos disponibles, reducir las emisiones y gestionar eficientemente las repercusiones medioambientales (Kleindorfer, Singhal, & Van Wassenhove, 2005; Srivastava, 2007).

Una de las aplicaciones más importantes se origina en el campo de la Inteligencia Artificial (IA), así como en el análisis de Big Data, lo cual posibilita la creación de trayectos de transporte más eficientes. Al procesar grandes cantidades de información histórica y en tiempo real, como el tráfico vehicular y las condiciones meteorológicas, los algoritmos predictivos pueden crear rutas que minimicen las distancias recorridas y tiempos de viaje. Esto resulta en una disminución del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂ (Genovese et al., 2017). Paralelamente, a esto se le añade un avance significativo gracias a la llegada de los vehículos eléctricos y los vehículos autónomos eléctricos. Los camiones de reparto que funcionan mediante energía eléctrica y utilizan las últimas tecnologías de baterías contribuyen a la reducción de emisiones directas de gases contaminantes, dando lugar a una mejora en la calidad del aire y disminuyendo el nivel de ruido en las ciudades. A esto se suma su compatibilidad con plataformas de gestión energética que organizan las recargas durante las horas en que la demanda es menor, favoreciendo el uso de energías renovables (Ivanov & Dolgui, 2020).

Los drones son vehículos aéreos eléctricos de pequeño tamaño que también ofrecen beneficios significativos para el medio ambiente en distancias cortas. Además de evitar una mayor congestión del tráfico terrestre, reducen el consumo adicional de combustible y pueden seguir rutas directas para minimizar el uso total de energía en entregas rápidas. Su capacidad de carga limitada los hace ideales para paquetes ligeros y ayuda a disminuir también la congestión en las calles debido a las entregas de pequeños paquetes (Srivastava, 2007; Genovese et al., 2017).

La tecnología Blockchain contribuye significativamente a la trazabilidad medioambiental de toda la cadena de suministro al registrar de manera inalterable cada fase del proceso logístico: desde la producción y transporte hasta el almacenamiento y distribución. Esto facilitará la verificación de la huella de carbono y el cumplimiento de normas internacionales como la ISO 14001 (norma de gestión ambiental), entre otras. Los contratos inteligentes tienen la capacidad de automatizar la generación de informes sobre sustentabilidad y medidas para contrarrestar las emisiones cuando se excede un límite predefinido, incentivando así prácticas más amigables con el medio ambiente (Kleindorfer et al., 2005; Genovese et al., 2017).

Los gemelos digitales o *Digital Twins* son una herramienta importante para promover la sostenibilidad al recrear de forma precisa las instalaciones logísticas en un entorno virtual que permite simular estrategias para reducir el consumo de energía y evaluar cómo los cambios en la infraestructura o nuevos tipos de embalaje más ligeros afectan antes de implementarlos en la vida real. Estas simulaciones disminuyen la necesidad de crear prototipos físicos y así minimizan el desecho de materiales y el uso de energía y agua (Ivanov & Dolgui, 2020).

Por otra parte, el diseño de envases ecológicos optimizados mediante algoritmos reduce el uso de plástico y materiales desechables al mínimo necesario para cumplir las funciones de protección requeridas y al mismo tiempo disminuye el peso del paquete impactando positivamente en el consumo energético de su transporte (Genovese et al., 2017).

La realidad aumentada (RA), al brindar a los consumidores la oportunidad de interactuar previamente a la compra de productos específicos desde casa, como por ejemplo una prenda de vestir (probándola e interactuando con ella), permite seleccionar la talla adecuada; esto, por un lado, reduce los desplazamientos a tienda y, por otro, reduce las devoluciones (disminuyendo el desperdicio de embalajes y las emisiones).

Todas estas innovaciones tecnológicas cambian el panorama en el sector del retail, tanto en la industria textil como en cualquier otra industria, brindando la oportunidad a las compañías para disminuir significativamente su huella ecológica, elevar sus métricas de sostenibilidad y cumplir responsabilidades corporativas y regulatorias, todo ello mientras mantiene eficiencia operativa y competitividad en un mercado cada vez más desafiante (Srivastava, 2007; Gimenes & Tachizawa, 2012; Genovese et al., 2017).

4.5. Seguridad y gestión de riesgos

La logística en el ámbito del retail enfrenta diversos desafíos tanto físicos como digitales que pueden poner en peligro la autenticidad de los productos y la continuidad de las operaciones comerciales junto con la confianza de los clientes. Para contrarrestar estos riesgos son imprescindibles adoptar tecnologías avanzadas como parte de la estrategia empresarial (Christopher & Peck, 2004; Liu et al., 2016).

Una de estas tecnologías es el Blockchain que garantiza un registro inalterable de cada transacción y movimiento de mercancías a lo largo de toda la cadena de suministro. Distribuir la información en una red descentralizada de nodos es lo que hace que el Blockchain sea tan valioso en cadenas que manejan productos sensibles o regulados de alto valor al evitar la alteración no autorizada de los datos. Los *smart contracts* permiten que las condiciones de envío y pago se cumplan automáticamente según lo acordado contractualmente (Tang, 2006; Zhang et al., 2020).

La creciente interconexión de sistemas como ERP, WMS, TMS y las infraestructuras IoT aumentan la vulnerabilidad ante los ataques informáticos. Los protocolos de cifrado avanzado y la autenticación multifactorial se utilizan para proteger estas redes. Sistemas de gestión centralizada de identidades también son implementados para añadir capas adicionales de seguridad. El uso de inteligencia artificial mejora estos métodos gracias al empleo de algoritmos que detectan intrusiones en tiempo real, mientras analizan el comportamiento tanto de usuarios como de dispositivos. Estos algoritmos pueden identificar patrones sospechosos y bloquear accesos no autorizados antes de que ocurra algún daño. De este modo se asegura la protección de los datos sensibles manteniendo su confidencialidad intacta y evitando filtraciones de información (Liu et al., 2016).

En el ámbito físico de los almacenes y centros de distribución y en los vehículos se utilizan sensores IoT para supervisar constantemente las condiciones de almacenamiento y transporte. El seguimiento automático de datos es posible gracias a estos sensores. Los datos recopilados son analizados mediante modelos predictivos. Estas alertas permitirán una respuesta rápida, evitando así la posible pérdida de productos sensibles. Esta supervisión continua ayuda a disminuir problemas y a mejorar las labores de mantenimiento preventivo en los equipos para reducir el tiempo de inactividad y los gastos relacionados con reparaciones urgentes (Christopher & Peck 2004; Tang, 2006).

La automatización de labores peligrosas brinda una capa extra de protección adicional en el lugar del trabajo. Los robots colaborativos junto a los vehículos autónomos se encargan de realizar actividades en áreas de alto riesgo como la carga y descarga de mercancías pesadas o la inspección en espacios reducidos, disminuyendo el riesgo para los trabajadores frente a accidentes laborales. Estos sistemas cuentan sensores detectores de cercanía y mecanismos de detención automática, aseguran un entorno laboral seguro y eficiente. Al mismo tiempo se emplean drones para inspeccionar límites y supervisar áreas extensas mediante rutas reestablecidas y transmisión de vídeos en directo a un centro de comando para detectar intrusiones o incidentes de manera anticipada (Yadav et al., 2018).

Para prever potenciales interrupciones de manera efectiva en la gestión de riesgos resulta muy beneficioso el uso de gemelos digitales. Al simular virtualmente los almacenes existentes y las rutas logísticas junto al comportamiento de los equipos involucrados permitirá a las empresas recrear situaciones críticas tales como fallos en los proveedores o desastres naturales. Así podrán poner a prueba sus planes de respuesta ante contingencias en un entorno seguro y controlado. Estas simulaciones son útiles para mejorar los procedimientos de emergencia y asignar adecuadamente los recursos de respuesta a la vez que capacitan al personal en la toma de decisiones en situaciones de alta presión. Así se asegura que la organización esté lista para actuar de manera rápida y efectiva frente a cualquier circunstancia imprevista (Zhang et al., 2020).

En resumen, la realidad está ayudando a que el personal aprenda sobre seguridad sin ponerse en riesgo, al recrear situaciones reales de forma segura. Combinada con la realidad aumentada en campo, permite que los trabajadores practiquen el uso de equipos de protección, cómo actuar en emergencias y como mantener sistemas importantes. Cuando estas tecnologías se integran con sistemas de monitoreo y automatización, se logra una base sólida para proteger las personas, los productos y mantener todo funcionando, incluso cuando surge lo inesperado (Liu et al., 2016; Zhang et al., 2020).

4.6. Formación y competencias

El avance de la tecnología en la logística del retail ha hecho que las empresas necesiten personas capaces de crear y aplicar soluciones más complejas. Pero no se trata solo de comprar máquinas o sistemas, lo importante es saber usarlos bien. Por eso, formar continuamente a los equipos es clave para que desarrollen conocimientos técnicos, aprendan a analizar datos y se adapten rápido a los cambios que trae la transformación digital (Salas et al., 2012; Sivathanu, 2017).

Hoy en día, los perfiles más tradicionales también necesitan manejar herramientas digitales básicas. Es importante que tanto empleados como supervisores sepan usar plataformas de datos y entiendan cómo leer paneles de control para analizar cosas como la precisión en el picking, el tiempo que tarda cada proceso o el estado del mantenimiento. Esta base digital ayuda a que trabajen mejor con quienes crean modelos de inteligencia artificial y permite tomar decisiones más rápidas y acertadas para mejorar la operación logística. (Sivathanu, 2017).

Aprender sobre robótica y automatización requiere combinar teoría y práctica, y es algo fundamental en un campo que cambia todo el tiempo. Los técnicos que trabajan con AGVs, AMRs o cobots necesitan saber de mecatrónica, electrónica y programación. Gracias a laboratorios y simuladores de realidad virtual, pueden entrenar cómo programar rutas, ajustar sensores o resolver fallos típicos sin incluso interrumpir el trabajo en curso (Salas et al., 2012).

Además, el Internet de las Cosas (IoT) y el Edge Computing introducen una nueva capa de complejidad en la infraestructura logística. La formación en este ámbito abarca desde la configuración de redes privadas y la instalación de puertas de enlace, hasta la supervisión de flujos de datos en tiempo real. Los equipos deben aprender a gestionar la conexión de cientos o miles de sensores, monitorear variables ambientales y de maquinaria, y aplicar medidas de ciberseguridad para proteger la información. Con este conocimiento, es posible prevenir fallos, proteger los productos y hacer mantenimiento usando datos reales. (Sivathanu, 2017).

Trabajar con Blockchain y seguridad informática exige una formación que combine distintos conocimientos, desde criptografía y redes distribuidas hasta cómo están diseñados los sistemas informáticos. Quienes se ocupan de estas plataformas necesitan entender cómo se crean y validan los bloques de datos, cómo funcionan los Smart Contracts y cómo proteger la información usando protocolos de seguridad, autenticación y control de accesos. Todo esto es clave para mantener segura la información dentro de la cadena logística (Agarwal & Brem, 2015).

Aunque cada área requiere conocimientos distintos, todos los profesionales que trabajan con tecnología deben desarrollar ciertas habilidades interpersonales fundamentales. Los cambios son constantes, y para que los proyectos funcionen bien es clave saber trabajar en equipo, comunicar lo que se logra, liderar el cambio y gestionar con eficacia la resistencia. Ser creativo y tener ganas de mejorar todo el tiempo ayuda a descubrir nuevas oportunidades y a hacer que los procesos sean cada vez mejores (Salas et al., 2012; Agarwal & Brem, 2015).

En resumen, capacitar al personal en el retail ya no es algo puntual, tiene que ser constante y en equipo. Las empresas que apuestan por formación presencial, online y simulaciones prácticas logran equipos que no solo entienden la tecnología, sino que la aprovechan al máximo. Esto no solo mejora el uso de la tecnología, sino que crea equipos más preparados, dinámicos y posibilitando que se puedan enfrentar a los desafíos de un mercado en constante evolución (Salas et al., 2012; Lee & Whang, 2001).

4.7. Integración en la cadena

La tecnología es el nexo que une todas las partes de la cadena logística en el retail: proveedores, fabricantes, almacenes, transportistas y tiendas. Gracias a esta conexión, la información y los productos fluyen de forma más rápida y coordinada. Las plataformas digitales eliminan los datos aislados, aseguran que todo se pueda rastrear y ayudan a que todos los involucrados trabajen mejor juntos, desde el primer paso hasta la venta al cliente (Lambert & Cooper, 2000; Stadler, 2015).

En el corazón de esta integración están los sistemas ERP, que reúnen en una sola plataforma distintas funciones como compras, ventas, finanzas, almacén y adquisiciones. Al conectarse con otras herramientas a través de APIs o estándares como EDI, estos sistemas pueden automatizar tareas clave. Por ejemplo, si el WMS detecta poco inventario, el ERP puede enviar automáticamente una orden de reposición a la fábrica, evitando quiebres de stock y demoras. Igualmente, los sistemas de gestión de transporte o TMS, se conectan directamente sin problema alguno a las bases de datos de rutas de vehículos y conductores, logrando sincronizar la planificación del transporte junto al momento en que llegan las mercancías y ajustando de manera flexible las entregas finales basándose en la disponibilidad real del momento (Chopra & Meindl, 2016; Simchi-Levi et al., 2008).

La integración de la cadena se ve reforzada con la tecnología Blockchain al ofrecer un registro compartido y distribuido entre todos los participantes que no puede ser alterado y donde se registran cada operación importante de manera consensuada, desde la confirmación de pedidos hasta la recepción en el centro de distribución y la entrega final. Estos registros aseguran que todas las partes involucradas en la cadena trabajan a partir de datos precisos y únicos para evitar discrepancias y conflictividad de información. Además de esto, los contratos inteligentes pueden automatizar los pagos una vez que se verifica la entrega conforme, lo cual acelera el proceso de facturación y previene posibles disputas comerciales. (Icanov et al., 2019).

El Internet de las Cosas (IoT) y las redes de conectividad avanzada como el 5G y Edge Computing aseguran la transmisión segura y constante de los datos recolectados por sensores en paletas de carga camiones y estantes. Estos dispositivos miden factores ambientales, posición geográfica, el estado de la carga y condiciones mecánicas, enviando esta información a plataformas de control que se integran a los sistemas WMS, TMS y ERP. Así es como funciona: el sistema de planificación recibe alertas automáticas cuando hay algo inusual (como cambios de temperatura u obstáculos en las rutas de transporte) y hace ajustes en inventarios, en recursos o en rutas al instante (Stadler, 2015).

Los Digital Twins o Gemelos Digitales amplían la integración al reproducir de forma digital toda la cadena logística. En un entorno visual, las empresas pueden simular situaciones de demandas, escasez de stock, cambios en los proveedores o situaciones adversas (como fenómenos climáticos o interrupciones de tráfico), evaluando las repercusiones antes de implementar modificaciones en la vida real (Ivanov et al., 2019). Esto posibilita la optimización de la distribución de inventarios entre almacenes y tiendas, el diseño de rutas alternativas y la planificación de acciones ante imprevistos operativos sin interferir en la cadena real, lo que resulta en una disminución de los tiempos de respuesta y, por tanto, en una mejor integración entre los diferentes elementos.

La alianza estratégica entre proveedores y empresas se ve reforzada mediante plataformas colaborativas basadas en la nube donde cada proveedor puede acceder a pronósticos de demanda actualizados al instante, así como volúmenes de compra y las fechas en la que deben realizar los envíos. A través de contratos automatizados de suministro, los proveedores pueden ajustar su producción y su logística para cumplir con las necesidades de la empresa minorista. Y mediante los sistemas ERP directamente conectados a la compra del cliente final pueden beneficiarse teniendo una previsión mejorada en la demanda. Por otra parte, los análisis avanzados de grandes cantidades de datos, que están integrados en todos estos sistemas, proporcionan cifras clave para los diferentes responsables de la cadena logística, como la rotación de inventario, los costes logísticos, las emisiones de carbono y la eficiencia de la flota. Estos datos están en tiempo real y facilitan la toma de decisiones (Simchi-Levi et al., 2008).

En resumen, lo que hace posible una cadena de suministro eficiente en el retail es la combinación de sistemas como ERP, WMS y TMS con el resto de las tecnologías. Cuando todo eso está bien integrado, la información y los productos se mueven con fluidez, se evitan errores y costes innecesarios, y las empresas pueden responder rápido a lo que el mercado (los consumidores) están pidiendo (Chopra & Meindl, 2016; Stadler, 2015; Lambert & Cooper, 2000).

5 CASO DE ESTUDIO: INDITEX

El crecimiento constante es el mejor mecanismo de supervivencia.
— Amancio Ortega —

Este capítulo se enfoca en estudiar el caso de Inditex, grupo empresarial reconocido a escala mundial en la industria textil, no solo por ser la empresa de moda con mayor facturación y por la eficiencia de su cadena de suministro, sino también por haberse convertido en un referente tecnológico debido a su firme apuesta de innovación en cada arista del grupo textil.

La elección de Inditex como caso de estudio responde no solo al interés personal en seleccionar a una empresa de la industria textil, sino también a su condición innovadora en la transformación tecnológica de la cadena logística. Además, la disponibilidad de datos accesibles y contrastables permite medir con precisión los resultados obtenidos, lo que permite analizar de forma realista el impacto que tiene la integración de dichas tecnologías en la operativa de la empresa. Con el estudio de este caso pretendo explorar en profundidad el impacto de tecnologías logísticas implementadas por Inditex, con el fin de identificar a partir de datos reales y verificables, qué tecnologías generan un mayor impacto y qué limitaciones pueden surgir al aplicarlas en un entorno exigente.

Este capítulo arranca con un resumen breve de la historia y algunos datos importantes de la empresa, para entender mejor el contexto del caso. Después, se explican las principales tecnologías que ha ido incorporando en su forma de trabajar. A partir de ahí, se analiza su impacto tanto con cifras como con observaciones cualitativas. Se cierra el capítulo las conclusiones del caso de estudio, buscando ofrecer una visión clara de cómo se están llevando a cabo las innovaciones tecnológicas en la logística del retail, en línea con el objetivo general del trabajo.



Figura 10: Centro logístico del grupo Inditex. Fuente: Inditex Careers, 2025

5.1. Contexto y perfil de la empresa

Inditex, siglas de Industria de Diseño Textil, S.A., es una empresa española de moda que fue fundada en 1985 por Amancio Ortega, con sede en Arteixo, Galicia. Su éxito se basa en el modelo “fast fashion”, que le permite producir ropa en tiempos muy cortos, adaptarse rápidamente a las modas y gestionar su logística con gran eficiencia, apoyándose siempre en la tecnología. Las marcas que forman parte del grupo son: Oysho, Zara, Massimo Dutti, Zara Home, Pull & Bear, Stradivarius, Bershka y Lefties. En 2022, Inditex decidió integrar sus marcas Uterqüe y Kid’s Class dentro de Massimo Dutti y Zara, respectivamente.



Figura 11: Logos de las marcas que componen Inditex. Fuente: Logos de Inditex Careers, 2025 / Picsart, elaboración propia 2025

Actualmente se encuentra entre los grupos textiles más importantes del mundo. Inditex tiene presencia en casi todo el mundo, con más de 7.200 tiendas repartidas en unos 96 países.

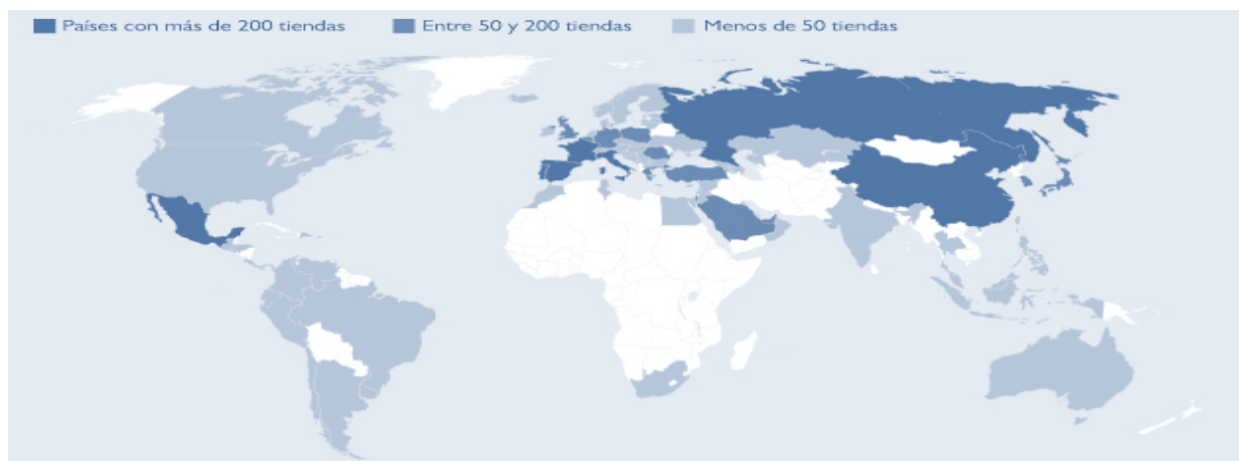


Figura 12: Infografía de la presencia de Inditex en el mundo. Fuente: Mundo Spanish 2018

Inditex cuenta con una red logística internacional muy avanzada, organizada en grandes centros logísticos ubicados en diferentes puntos, en España (Arteixo, Cabanillas, Elche, León, Tordera, Zaragoza,) y también fuera de Europa. Estos centros han sido modernizados de manera constante con tecnología de última generación para mejorar la eficiencia, reducir el impacto en el medioambiente y automatizar los procesos. El centro logístico de Arteixo (Galicia) destaca especialmente y se considera uno de los centros logísticos más innovadores de Europa.

Desde el principio, Inditex ha apostado de forma clara por la tecnología y la innovación en su logística. Solo entre 2020 y 2024 ha invertido más de mil millones de euros en digitalizar sus procesos logísticos y comerciales. Esto la convertido en una de las empresas textiles que más recursos dedica a la tecnología. Gracias a este esfuerzo, ha conseguido hacer su cadena de suministro mucho más eficiente, reduciendo tiempos, errores operativos y costes, y mejorando el impacto medioambiental.

Desde los años noventa, Inditex ha sido una empresa pionera en usar un modelo logístico centralizado, algo que supuso un cambio importante respecto al sistema tradicional en el sector textil. Además, en 2014 fue una de las primeras compañías del rubro en aplicar la tecnología RFID a gran escala, lo que mejoró notablemente la trazabilidad y la gestión del inventario. Además, hace tiempo que Inditex utiliza herramientas avanzadas como, por ejemplo, el Big Data y también la analítica predictiva para tomar decisiones optimizadas.

A estas tecnologías se le suman muchas otras que la empresa incorpora a lo largo de toda la cadena logística y en todas las áreas de la empresa. En la siguiente sección me voy a centrar únicamente en aquellas que afectan directamente a la logística y los impactos que tiene dichas tecnologías sobre la empresa.

5.2. Tecnologías aplicadas en la logística

Inditex, uno de los referentes mundiales en la industria textil, ha transformado sus centros logísticos para mantener un sistema de distribución rápido y eficiente. Para lograrlo, ha llevado a cabo diferentes estrategias y entre ellas destacaría la integración de los inventarios de tiendas físicas y ventas online con herramientas tecnológicas propias que permiten controlar todo en tiempo real (Inditex, 2021). A continuación, se muestran las tecnologías que la empresa ha integrado en su logística para trabajar de forma más rápida, organizada y eficiente.

- **Sistemas de SGA y de SGT:**

Inditex tiene su propio sistema para gestionar sus almacenes, que organiza todas las tareas logísticas y está conectado con las empresas de transporte. En su centro de ventas online en Marchamalo, por ejemplo, este sistema controla 500 robots que mueven estanterías con productos, lo que facilita el trabajo de los empleados y mejora la eficiencia (Inditex, 2021b). También utiliza programas para planificar los envíos a tiendas y clientes, aunque no se conocen muchos detalles sobre cómo funcionan (Inditex, 2022).

- **Sistemas de ERP:**

Inditex lleva usando SAP ERP desde 2012 para unir y coordinar partes esenciales del negocio como las finanzas, la producción, los inventarios y las ventas. Además, lo combinan con su propia plataforma, llamada Inditex Open Platform (IOP), que les ayuda a ajustar sus procesos rápidamente y seguir siendo una empresa ágil (Inditex, 2018).

- **Almacenes automatizados:**

En el centro logístico de Marchamalo, Inditex utiliza 500 robots móviles que transportan estanterías con productos directamente hasta los operarios. Este sistema, conocido como goods-to-person, agiliza la preparación de pedidos y reduce errores, gracias a una inversión significativa en tecnología y organización (Inditex, 2021).

- **Robots de picking/sorting y cobots:**

Inditex ha probado la automatización del proceso de clasificación con robots que, usando inteligencia artificial y visión artificial, colocan prendas dobladas en clasificadores de paquetes (Inditex, 2021). También ha ensayado con robots que recorren las estanterías altas para hacer inventarios más rápidos. Aun así, su estrategia logística sigue prefiriendo el uso de AMR que acercan las unidades a los operarios, en lugar de incorporar brazos robóticos para hacer el picking (Inditex, 2022).

- **Big Data, IA y ML:**

Inditex hace bastante uso de tecnologías de Big Data, IA y Machine Learning para predecir qué productos tendrán más demanda, optimizar los inventarios y adaptar su distribución, en colaboración con instituciones como el MIT y startups especializadas, implementa motores de predicción que analizan el comportamiento potencial de nuevos productos, permitiendo ajustes ágiles en los ciclos de fabricación y entrega (Inditex, 2019; García-Arcicollar, 2021).

- **Modelos de predicción y optimización:**

Inditex emplea algoritmos predictivos que definen el nivel de stock inicial óptimo por tienda y para ajustar el stock de seguridad en tiempo real según las probabilidades de venta. Gracias a esto, logra evitar excesos de inventario sin afectar la disponibilidad del producto (Inditex, 2022).

- **Digital Twins:**

Hasta el momento, Inditex no ha dado el paso de usar gemelos digitales que reflejen en vivo lo que ocurre en sus almacenes. Aunque sí hace pruebas y simulaciones para organizar mejor sus espacios, todavía no tiene una versión digital que funcione al mismo ritmo que lo real (Inditex, 2022).

- **Sensores inteligentes y dispositivos wearables:**

Inditex usa etiquetas RFID en toda su ropa para saber en todo momento dónde está cada prenda. También ha puesto sensores inteligentes en sus centros logísticos, aunque por ahora no parece haber utilizado dispositivos avanzados que puedan llevar los trabajadores (Inditex, 2021).

- **Infraestructuras de conectividad:**

Inditex ha instalado redes muy rápidas, como Wi-Fi 6 y 5G privadas, en sus almacenes. Gracias a estas conexiones y al procesamiento local, puede controlar sus robots y sensores al instante. Todo está conectado a su propia plataforma, IOP, que reúne los datos y garantiza que todo funcione sin demoras y con gran precisión (Inditex, 2021).

- **Plataformas de DLT/Blockchain y Smart Contracts:**

Inditex no usa blockchain ni contratos inteligentes en su logística. En vez de eso, confía en sistemas centralizados como RFID y su sistema de gestión de almacenes (SGA), y se apoya en certificados de empresas externas para asegurar que sus materiales sean trazables y sostenibles (Idea InnovALab, 2024).

- **Protocolos de cifrado e infraestructuras de ciberseguridad:**

Inditex protege su información con estándares reconocidos, como la certificación ISO 27001, y asegura que todas las comunicaciones de sus centros logísticos estén cifradas. También tiene un equipo dedicado a la seguridad, hace revisiones periódicas y ofrece formación en ciberseguridad a su personal (Inditex, 2018).

- **Dispositivos de RA para operarios:**

Por ahora, Inditex no ha usado realidad aumentada para ayudar al personal de almacén. Aunque sí probó esta tecnología en tiendas con una app llamada Zara AR para clientes, no hay proyectos similares pensados para mejorar el trabajo de quienes están en la parte logística (Cinco Días, 2018).

- **Simuladores en RV para formación y diseño de layouts:**

Inditex usa realidad virtual para formar a sus empleados, tanto en tiendas como en oficinas, ofreciendo experiencias inmersivas especialmente útiles en los primeros días de trabajo. Aun así, no ha informado de que la utilicen para planificar cómo se organizan sus almacenes (La Vanguardia, 2020).

- **Vehículos autónomos para larga distancia:**

Hasta ahora, Inditex no usa camiones autónomos ni convoyes coordinados en su transporte. Prefiere trabajar con empresas de transporte tradicionales y mejora sus rutas y cargas sin recurrir a vehículos que se conduzcan solos (Mapfre Global Risks, 2019).

- **Drones de inspección y entrega:**

Por ahora, Inditex no usa drones ni en sus almacenes ni para hacer entregas. Prefiere mejorar su logística tradicional y aprovechar sus tiendas como puntos de distribución. Quizás en el futuro prueben con drones, si la tecnología y las leyes lo permiten (Mapfre Global Risks, 2019).

Esta investigación demuestra que Inditex ha puesto en marcha muchas de las tecnologías 4.0, explicadas en el tercer capítulo. Usa sistemas como WMS, TMS y ERP para gestionar su logística, junto con robots que automatizan sus almacenes y herramientas de picking y sorting. También aprovecha el Big Data, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático para mejorar sus inventarios y entregas. Gracias a sensores RFID, redes 5G y otras tecnologías, tiene una logística muy conectada y segura, con protocolos de cifrado y certificaciones como la ISO 27001.

Aunque Inditex va muy por delante en tecnología, todavía hay varias herramientas que no ha incorporado del todo. Por ejemplo, no usa gemelos digitales, ni Blockchain o contratos inteligentes en su logística. Tampoco wearables para operarios, ni Realidad Aumentada o Virtual para mejorar los almacenes. Lo mismo ocurre con camiones autónomos o drones: no están en uso regular. Algunas de estas tecnologías están en fase de prueba, pero aún no se usan de forma habitual. Aun así, representan una gran oportunidad para que la empresa siga mejorando su logística y mantenga su ventaja competitiva.

5.3. Impactos de las tecnologías

Gracias a la combinación de un sistema de gestión de almacenes (WMS) y 500 robots móviles autónomos, Inditex ha logrado reducir un 30 % el tiempo que se tarda en preparar los pedidos en su centro de Marchamalo. Esto es posible porque los operarios ya no tienen que moverse tanto y las tareas están mejor organizadas (Inditex, 2021b). Así, pueden atender más pedidos online sin necesidad de contratar más personal ni ampliar el espacio de trabajo.

Con ayuda de modelos que predicen la demanda y a una técnica llamada “coberturas dinámicas”, Inditex ha conseguido reducir un 15 % el dinero que antes tenía inmovilizado en stock de seguridad, sin que eso haya provocado más faltas de productos (Inditex, 2022). Ajustando automáticamente las cantidades según las ventas reales y las previsiones de IA, la empresa ha aprovechado mejor el espacio en sus almacenes ha gastado menos en almacenamiento y ha sacado más partido económico a cada metro cuadrado.

La trazabilidad mejorada gracias a la implantación masiva de RFID en todas las prendas y el despliegue de sensores IoT en almacenes ofrece una visibilidad en tiempo real del inventario en todos los canales (tienda física y online). Este sistema reduce las discrepancias de stock por debajo del 0,5 % y permite detectar y resolver incidencias al instante, con un impacto directo en la reducción de costes de la logística inversa (Inditex, 2021a).

Inditex ha logrado eliminar más de 90 000 trayectos al año en Europa gracias a una mejor planificación de rutas y a cargar mejor sus camiones. Esto ha supuesto una reducción del 12 % en sus emisiones de CO₂ por entregas por carretera (Inditex, 2022; Mapfre Global Risks, 2019). Con menos viajes vacíos y más eficiencia en el transporte, la empresa avanza en sus compromisos de sostenibilidad sin retrasar sus entregas, que siguen llegando en unas 48 horas de media.

Gracias al uso de Big Data y algoritmos inteligentes, Inditex ha mejorado mucho su atención al cliente, alcanzando un nivel de servicio superior al 95 %. Estas tecnologías permiten reponer productos en tiempo real y adaptar la oferta según lo que prefieren los clientes de cada tienda (Inditex, 2019; García-Arcicollar, 2021). Así, los clientes encuentran más fácilmente lo que buscan, están más satisfechos y devuelven menos productos.

Inditex ha empezado a usar simuladores de realidad virtual para formar a sus nuevos empleados, y con eso ha logrado que aprendan lo básico un 20 % más rápido, ya sea en tienda o en logística (La Vanguardia, 2020). Al ser una formación más visual e interactiva, los trabajadores recuerdan mejor lo aprendido y están más preparados para afrontar situaciones difíciles.

Para proteger sus sistemas, Inditex ha conseguido la certificación ISO 27001 y usa cifrado en todas sus comunicaciones. Estas medidas han evitado problemas de seguridad importantes en sus centros logísticos y ayudan a que tanto clientes como proveedores confíen en su forma de trabajar (Inditex, 2018).

Por último, el tipo de profesionales que trabaja en logística también ha cambiado. Ahora, con más robots en los almacenes, los empleados necesitan saber usar tecnología y supervisar procesos digitales. Por eso, Inditex apuesta por formar continuamente a su equipo y adaptarse a esta nueva realidad. Gracias a todas estas tecnologías, la empresa sigue siendo competitiva, puede responder rápido a los cambios del mercado y cuida el medioambiente.

5.4 Análisis y conclusiones

Este análisis sobre Inditex muestra lo importante que es usar tecnología para mejorar la logística, sobre todo en una industria tan rápida y cambiante como la textil. Inditex ha logrado aplicar herramientas avanzadas de forma muy efectiva, y eso le ha permitido trabajar mejor, más rápido y de forma más sostenible. Su ejemplo demuestra que, cuando se apuesta por la innovación, los resultados se notan en toda la empresa.

Entre las tecnologías con mayor impacto en la logística de Inditex destacan los sistemas de gestión de almacenes (WMS) y transporte (TMS), integrados con el uso extensivo de robots móviles autónomos (AMR). La implementación de estos robots en el centro de Marchamalo ha permitido reducir significativamente los tiempos de preparación de pedidos, incrementando la productividad sin necesidad de ampliar el personal ni el espacio físico. Esta automatización respalda directamente el modelo ágil de "fast fashion" del grupo.

La analítica predictiva basada en Big Data, Inteligencia Artificial (IA) y Machine Learning (ML) ha sido clave para optimizar inventarios, reducir el capital inmovilizado y minimizar el sobrestock y las roturas. La capacidad para anticipar la demanda y ajustar la oferta en tiempo real constituye una ventaja competitiva decisiva.

Asimismo, la implementación masiva de tecnología RFID y sensores IoT ha mejorado de forma sustancial la trazabilidad del inventario. Esto reduce errores, mejora la gestión de incidencias y contribuye a una experiencia de cliente más fluida. Estas soluciones están soportadas por una infraestructura tecnológica de alto nivel, con redes Wi-Fi 6, 5G privadas y edge computing, que aseguran el procesamiento en tiempo real y la fiabilidad de las operaciones.

En el ámbito de la sostenibilidad, la planificación avanzada de rutas y la consolidación de cargas han permitido reducir emisiones logísticas, mientras que la realidad virtual (RV) ha mejorado la formación interna, acortando los tiempos de aprendizaje. Finalmente, una arquitectura robusta de ciberseguridad, con certificación ISO 27001 y sistemas de cifrado avanzados, ha protegido eficazmente la operativa digital, reforzando la confianza de clientes y socios estratégicos.

Aunque Inditex es una empresa muy innovadora, ha decidido no usar todavía algunas tecnologías nuevas. Por ejemplo, no ha puesto en marcha gemelos digitales en sus almacenes, más allá de algunas simulaciones sueltas. Tampoco ha incluido blockchain ni contratos inteligentes en su logística, ya que prefiere seguir usando sistemas centralizados que ya funcionan bien, como el RFID.

Además, no ha implementado wearables para operarios ni usa Realidad Aumentada en almacenes, aunque sí lo ha probado con los clientes en tiendas a través de la app Zara AR. En cuanto al transporte, no utiliza camiones autónomos ni drones para repartos, porque considera que estas tecnologías aún no están lo suficientemente desarrolladas ni reguladas. Con estas decisiones, Inditex demuestra que prefiere avanzar con pasos firmes. Primero apuesta por tecnologías que ya han demostrado su valor, y deja la puerta abierta a probar otras más adelante, cuando estén más maduras.

En pocas palabras, este análisis de Inditex, una de las empresas más avanzadas tecnológicamente en moda, nos ha permitido ver con claridad qué tecnologías realmente marcan la diferencia. Las que más impacto tienen son los sistemas logísticos como WMS, TMS y ERP, los robots AMR, todo lo relacionado con Big Data, IA, machine learning, sensores RFID, IoT, redes rápidas, realidad virtual y, por supuesto, una buena ciberseguridad. También queda claro que hay otras tecnologías prometedoras que aún no están listas para usarse del todo, como los gemelos digitales, blockchain, smart contracts, drones, wearables o la realidad aumentada en almacenes (aunque sí se ha probado en tiendas). Esta información es súper útil para seguir adelante con el análisis final del proyecto y poder recomendar con fundamento qué tecnologías 4.0 puede adoptar una pyme de forma realista y efectiva.

6 ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS

Decidir qué no hacer es tan importante como decir qué hacer.
— Steve Jobs—

Legamos al capítulo de análisis, la fase en la que convergen todas las aportaciones desarrolladas a lo largo del trabajo. Tras revisar los fundamentos teóricos de las tecnologías 4.0 y examinar las principales soluciones aplicadas en el ámbito logístico, incluyendo sistemas WMS, TMS y ERP, automatización, robótica, Big Data, IA, ML, Digital Twins, IoT, conectividad avanzada, sensores inteligentes, wearables, Blockchain, RA, RV, vehículos autónomos y drones, así como el caso real de Inditex como referente en la transformación tecnológica del sector textil, se cuenta ya con el conocimiento necesario para abordar el siguiente paso del proyecto: el análisis cualitativo y cuantitativo para seleccionar tecnologías aplicables a una pyme. Este capítulo responde al objetivo de identificar, entre las tecnologías 4.0 preseleccionadas, cuáles son idóneas y viables para ser implementadas en la logística de una pyme, cumpliendo los criterios establecidos en las directrices del proyecto (véase Anexo). Para ello, se emplea una metodología dual que combina el análisis cualitativo y el análisis cuantitativo, asegurando así una evaluación sólida, práctica y fundamentada para la toma de decisiones.

Para empezar el análisis, he elegido el modelo DAFO como herramienta cualitativa. Este método ayuda a identificar las fortalezas y debilidades de la pyme, así como las oportunidades y amenazas del entorno tecnológico actual. No se trata solo de entender la situación, sino de decidir qué tipo de estrategia es más adecuada para una empresa pequeña, joven y con recursos limitados, y en función de esa estrategia, ver qué tecnologías tienen más sentido implantar.

La segunda parte del análisis es cuantitativa, y para ello se ha elegido un método que ayuda a tomar decisiones comparando opciones: el método TOPSIS. Este sistema sirve para poner en orden distintas tecnologías según criterios importantes como el coste, su uso en el sector o lo bien que encajan con la estrategia de la empresa. Con esta herramienta se puede construir una tabla de decisión, asignar valores y ver, de forma objetiva, cuáles son las tecnologías que más convienen. Así se puede elegir la mejor opción de manera justificada y sin depender solo de opiniones.

Este capítulo está centrado en el caso concreto de una pyme textil que se encuentra en plena fase de crecimiento. Como pide el proyecto, solo se tendrán en cuenta tecnologías que ya han sido aplicadas por Inditex, lo cual garantiza que estamos hablando de soluciones fiables y bien probadas en el sector. El objetivo de este análisis es ayudar a decidir, paso a paso y con buena base, qué tecnologías son las más útiles para esta empresa, empezando por el análisis DAFO.

6.1. Análisis DAFO

El análisis DAFO es una herramienta muy usada para planificar estrategias en todo tipo de empresas, grandes o pequeñas. Su nombre viene de las siglas Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades, y sirve para entender tanto lo que pasa dentro de la empresa como lo que ocurre fuera. Gracias a este análisis, es más fácil ver qué funciona, qué no, y qué camino conviene seguir para lograr los objetivos.

En el contexto actual de transformación tecnológica, el análisis DAFO se consolida como una herramienta clave para guiar la implantación de tecnologías en la empresa. Aplicado de forma adecuada, permite identificar las fortalezas y debilidades internas de la pyme, así como anticipar las oportunidades y amenazas externas, especialmente relevantes en procesos de inversión tecnológica como los vinculados a la industria 4.0. De este modo, el DAFO no solo ayuda a detectar ventajas competitivas y riesgos potenciales, sino que también proporciona una base sólida para definir estrategias de desarrollo realistas y alineadas con las capacidades de la organización.

La estructura básica del análisis DAFO se compone de cuatro dimensiones principales:

- **Debilidades:** son aspectos internos que limitan o dificultan el desarrollo de la empresa.
- **Fortalezas:** hacen referencia a factores internos que representan ventajas competitivas o capacidades diferenciadoras.
- **Oportunidades:** son elementos positivos del entorno que pueden ser aprovechados para impulsar el crecimiento o la mejora.
- **Amenazas:** se refieren a factores externos que suponen riesgos, obstáculos o tensiones para la continuidad y el éxito de la empresa.

Pero el verdadero valor del análisis reside en la capacidad para articular estrategias que permitan a la empresa responder de manera proactiva a su realidad. Tradicionalmente, el cruce de las cuatro dimensiones del DAFO da lugar a cuatro grandes tipos de estrategias:

- **Estrategia FO (Fortalezas-Oportunidades) - Ofensiva:** consiste en aprovechar las fortalezas internas para sacar el máximo partido de las oportunidades externas. Se emplea habitualmente en etapas de crecimiento o expansión.
- **Estrategia DO (Debilidades-Oportunidades) - De Reorientación:** trata de superar debilidades internas aprovechando oportunidades del entorno. Es adecuada cuando existen carencias internas, pero el contexto ofrece posibilidades claras de mejora.
- **Estrategia FA (Fortalezas-Amenazas) - De Supervivencia:** utiliza los puntos fuertes para afrontar amenazas externas. Es recomendable cuando la empresa está capacitada, pero se enfrenta a riesgos relevantes.
- **Estrategia DA (Debilidades-Amenazas) - Defensiva:** se centra en reducir tanto debilidades como amenazas. Se asocia con situaciones de alta vulnerabilidad, buscando garantizar la estabilidad y continuidad.

		ANÁLISIS INTERNO	
		FORTALEZAS	DEBILIDADES
ANÁLISIS EXTERNO	OPORTUNIDADES	OFENSIVA	DE REORIENTACIÓN
	AMENAZAS	DEFENSIVA	DE SUPERVIVENCIA

Tabla 2: Matriz de Análisis DAFO

Por eso, el análisis DAFO no solo sirve para entender cómo está la pyme en el mercado, sino que ayuda a decidir qué camino seguir. En este proyecto, es la base para escoger las tecnologías 4.0 que mejor se adaptan a lo que la empresa necesita y puede asumir.

Para esta pyme textil, que es joven, con pocos años de vida, un equipo reducido y pocos recursos, pero que opera en un sector muy competitivo, la estrategia más lógica es la estrategia DA (defensiva). ¿Por qué? Porque en este momento lo más importante es asegurar lo básico: aprovechar bien lo que se tiene, evitar riesgos innecesarios y no hacer inversiones que puedan poner en peligro el negocio. Por eso, y siguiendo las normas del proyecto, solo se tienen en cuenta las tecnologías que ya ha probado Inditex, ya que son soluciones que han demostrado funcionar en el sector textil. Una vez hecho este filtro, se clasifica cada tecnología 4.0 según la estrategia DAFO que mejor encaja con sus características, basándose en el análisis anterior sobre sus ventajas y dificultades. El resultado es el siguiente:

- **Sistemas de gestión de almacenes (WMS):** Se clasifica dentro de la estrategia DA (Defensiva), ya que permite reducir errores operativos, optimizar la gestión de inventarios y mejorar la eficiencia interna, abordando así debilidades típicas de una pyme como la falta de control y recursos limitados. Es una tecnología consolidada, con un coste y complejidad de integración asumibles para empresas pequeñas.
- **Sistemas de gestión de transporte (TMS):** Se integra en la estrategia DA (Defensiva), porque facilita la planificación y seguimiento de los envíos, ayudando a minimizar ineficiencias logísticas y controlar costes, factores críticos para la supervivencia y competitividad de una pyme en su entorno.
- **Sistemas de integración (ERP):** Situado en la estrategia DA (Defensiva), un ERP es clave para reducir la dispersión de la información y mejorar la coordinación entre departamentos, mitigando así debilidades como la falta de automatización o la gestión manual de procesos. Además, ayuda a responder a amenazas de desorganización o falta de trazabilidad.
- **Tecnologías RFID:** Clasificadas dentro de la estrategia DA (Defensiva), estas soluciones permiten mejorar la trazabilidad y el control de stock en tiempo real, lo que ayuda a minimizar errores, robos o pérdidas y facilita la toma de decisiones, reforzando la seguridad de la empresa y reduciendo riesgos en la cadena logística.
- **Protocolos y estándares de cifrado e infraestructuras de ciberseguridad:** Encajan en la estrategia DA (Defensiva), ya que la protección de datos y la gestión de riesgos digitales son esenciales en un entorno cada vez más digitalizado y expuesto a ciberamenazas. Permiten a la pyme minimizar vulnerabilidades internas y responder ante amenazas externas, asegurando la continuidad del negocio.
- **AGV/AMR (Almacenes automatizados):** Se ubican en la estrategia FA (Supervivencia), ya que, aunque requieren inversión y capacidad técnica, aprovechan fortalezas como la disposición a innovar para reducir costes a medio plazo y mitigar amenazas externas como la presión competitiva.
- **Robots de picking/sorting y robots colaborativos (cobots):** Se consideran también dentro de la estrategia FA (Supervivencia), dado que permiten a una empresa que ya cuenta con cierta capacidad organizativa y cultura de innovación optimizar la operativa, aumentar la productividad y contrarrestar amenazas como la escasez de mano de obra o los incrementos salariales.
- **Modelos de predicción y optimización (IA/ML):** Clasificados en la estrategia FO (Ofensiva), ya que requieren capacidades avanzadas y recursos, pero permiten a la empresa diferenciarse, anticipar tendencias y aprovechar oportunidades de mercado, siendo muy efectivos en organizaciones con suficiente madurez y recursos para invertir en soluciones de inteligencia de negocio.
- **Inteligencia de las Cosas (IoT):** Se sitúa en la estrategia DO (Reorientación), porque permite a empresas que presentan debilidades como la falta de monitorización integrar soluciones accesibles para aprovechar oportunidades de digitalización y control en tiempo real, mejorando la visibilidad de los procesos con inversiones moderadas.
- **Sensores inteligentes y dispositivos wearables:** También en la estrategia DO (Reorientación), ya que ayudan a superar debilidades en el control operativo y aprovechar la tendencia creciente de digitalización, permitiendo una mejora incremental de los procesos productivos sin requerir cambios estructurales.
- **Dispositivos de RA para operarios:** Incluidos en la estrategia DO (Reorientación), porque facilitan la formación, la reducción de errores y la mejora de la eficiencia operativa, lo que permite a una pyme

compensar sus carencias internas y aprovechar la disponibilidad de tecnología madura en el sector.

Quedando la clasificación final así:

		ANÁLISIS INTERNO	
		FORTALEZAS	DEBILIDADES
ANÁLISIS EXTERNO	OPORTUNIDADES	Modelos de predicción y optimización	IoT, sensores inteligentes, dispositivos wearables, dispositivos de RA para operarios
	AMENAZAS	AGV/AMR (almacenes automatizados), robots de picking/sorting, cobots (robots colaborativos)	WMS, TMS, ERP, RFID, Protocolos y estándares de cifrado e infraestructuras de ciberseguridad

Tabla 3: Matriz DAFO de tecnologías 4.0

Por tanto, tras esta clasificación y aplicando la estrategia DA que responde al perfil de la pyme, las tecnologías consideradas más adecuadas para priorizar su implantación son:

- ⇒ **Sistemas WMS**
- ⇒ **Sistemas TMS**
- ⇒ **Sistemas ERP**
- ⇒ **Tecnologías RFID**
- ⇒ **Protocolos y estándares de cifrado e infraestructuras de ciberseguridad**

La elección de estas tecnologías se basa en una estrategia defensiva, pensada para ajustarse a lo que realmente necesita y puede asumir una pyme: pocos recursos, necesidad de evitar errores costosos y mantenerse estable en un entorno que cambia constantemente. Usando el análisis DAFO, y siguiendo paso a paso las pautas del proyecto, se han podido identificar con claridad las tecnologías que ayudan a mejorar el día a día de la empresa, hacen más eficiente el uso de sus recursos y protegen su información. Gracias a este enfoque, se han descartado tecnologías muy nuevas o arriesgadas, y se han elegido solo aquellas que ya han funcionado bien en empresas grandes como Inditex. Así, las conclusiones obtenidas sirven como una guía firme para tomar decisiones, adaptando la digitalización a las posibilidades reales de la pyme y asegurando que cada avance tenga un impacto positivo en su futuro.

En resumen, el DAFO ayuda a elegir tecnologías que se ajustan a la realidad de la empresa, cuidando el uso de recursos y reduciendo riesgos mientras se avanza hacia una transformación tecnológica con sentido.

6.2. Análisis MCDM - Técnica TOPSIS

En esta sección se aborda la fase de análisis cuantitativo del proyecto de implantación tecnológica en una pyme, conforme a los requisitos establecidos en las directrices del anexo. El objetivo es fundamentar la decisión sobre qué tecnologías 4.0 resultan más adecuadas, aplicando un procedimiento metodológico que permita comparar distintas alternativas según criterios relevantes para la empresa. Este enfoque garantiza un proceso de selección riguroso, basado en datos objetivos y alineado con las necesidades estratégicas de la organización.

En este contexto, opto por emplear un método de decisión multicriterio (MCDM), especialmente adecuado para valorar varias opciones considerando múltiples criterios ponderados. Tras comparar distintas metodologías, se elige la técnica TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), ampliamente utilizada en la selección y priorización dentro del ámbito empresarial, en este caso para la priorización tecnológica. TOPSIS permite identificar la alternativa más cercana a la solución ideal (máxima puntuación en todos los criterios) y más alejada del peor escenario posible (mínimos valores en los criterios), utilizando para ello una matriz de datos normalizada y ponderada. Para este análisis, y en consonancia con las necesidades de la pyme y las directrices del proyecto, se han definido tres criterios clave.

- **Criterio de adopción sectorial:** Este criterio refleja el grado de madurez y aceptación de cada tecnología en el sector, valorando cuántas de las empresas líderes en implementación de tecnología del nicho deportivo la han implementado.

$$Adopción_i = \sum_{j=1}^N \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ si la empresa } j \text{ utiliza la tecnología } i \\ 0, \text{ si no} \end{array} \right\}, \text{ donde } N \text{ es el n}^\circ \text{ de empresas de referencia (N=10)}.$$

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

	Adidas	Arc'teryx	Columbia	Hoka	Lululemon	Nike	Patagonia	Puma	TNF	UA	Total
WMS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	10
TMS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	10
ERP	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	10
RFID	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	6
Ciberseguridad	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	10
AGV/AMR	Sí	No	No	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí	4
Robots picking	No	No	No	No	No	Sí	No	No	No	Sí	2
Cobots	Sí	No	No	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí	4
IA/ML	Sí	NO	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	8
IoT	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	10
Sensores/Wearables	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	10
RA Operarios	Sí	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí	2

Tabla 4: Tabla Excel resultado criterio de adopción sectorial

- **Criterio de alineación estratégica DAFO:** Resultado del análisis DAFO realizado en el subapartado anterior, reflejando en qué medida la tecnología seleccionada responde a la estrategia prioritaria de la pyme. Con la siguiente asignación de puntuaciones, según el tipo de estrategia que apoya:

	Estrategia DAFO	Puntuación
WMS	DA	10
TMS	DA	10
ERP	DA	10
RFID	DA	10
Ciberseguridad	DA	10
AGV/AMR	FA	5
Robots picking	FA	5
Cobots	FA	5
IA/ML	FO	0
IoT	DO	2
Sensores/Wearables	DO	2
RA Operarios	DO	2

Tabla 5: Tabla Excel criterio de puntuación de alineación con estrategia DAFO

- **Criterio de coste de implantación:** Se recoge el coste medio estimado de cada de integración de cada tecnología aportado. Se transforma a una escala 0-10, donde 10 es el coste mínimo y 0 el máximo.

$Coste_{punt,i} = 10 \times \frac{C_{max}-C_i}{C_{max}-C_{min}}$, donde C_i es el coste de la tecnología i, $C_{máx}$ el mayor y $C_{mín}$ el menor coste

	Coste (€)	Coste (punt)
WMS	65.000	6,4
TMS	50.000	7,2
ERP	50.000	7,2
RFID	20.000	9,0
Ciberseguridad	10.000	9,5
AGV/AMR	175.000	0,0
Robots picking	115.000	3,5
Cobots	30.000	8,4
IA/ML	80.000	5,5
IoT	30.000	8,4
Sensore/Wearables	2.000	10,0
RA Operarios	4.000	9,9

Tabla 6: Tabla Excel criterio de coste de implantación

Con los valores obtenidos para cada tecnología se construye la matriz de decisión:

	Adopción	Estrategia	Coste (€)
WMS	10	10	6,4
TMS	10	10	7,2
ERP	10	10	7,2
RFID	6	10	9,0
Ciberseguridad	10	10	9,5
AGV/AMR	4	5	0,0
Robots picking	2	5	3,5
Cobots	4	5	8,4
IA/ML	8	0	5,5
IoT	10	2	8,4
Sensores/Wearables	10	2	10,0
RA Operarios	2	2	9,9

Tabla 7: Tabla Excel matriz de decisión

A continuación, se desarrolla el proceso TOPSIS:

1) Normalización de la matriz de decisión:

Para cada valor x_{ij} (tecnología i, criterio j), se obtiene el valor normalizado r_{ij} :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

2) Ponderación de los criterios:

Se multiplica cada valor normalizador ij por el peso asignado a cada criterio w_j :

$v_{ij} = r_{ij} * w_j$, en este trabajo como a todos los criterios se le da la misma importancia en el proyecto, se ponderan igual, es decir, $w_j=1/3$.

3) Determinación del ideal positivo y negativo:

- Ideal positivo (A+): valor máximo de cada columna ponderada.
- Ideal negativo (A-): valor mínimo de cada columna ponderada.

4) Cálculo de la distancia a los ideales:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2} \quad S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2}$$

5) Determinación del índice de cercanía al ideal (C*):

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

7 RESULTADO Y CONCLUSIÓN

Solo da el primer paso y el resto del camino irá apareciendo a medida que camines.
— Martin Luther King—

Tras aplicar la técnica descrita TOPSIS, última fase del proceso las alternativas se ordenan de mayor a menor C^* , de modo que las más próxima al ideal positivo y alejada del negativo ocupa la primera posición.

Tecnología	C^*	Ranking
Ciberseguridad	0,97	1
RFID	0,89	2
TMS	0,85	3
ERP	0,85	4
WMS	0,81	5
Sensores/Wearables	0,79	6
Cobots	0,72	7
IoT	0,64	8
Robots picking	0,3	9

Este trabajo ha analizado de forma detallada el potencial que tienen las tecnologías 4.0 en la logística del sector textil, centrándose especialmente en cómo pueden aplicarse en una pyme joven que está creciendo. Primero se revisaron los conceptos clave sobre digitalización y logística. Luego se estudió el caso de Inditex, una empresa pionera en el uso de tecnología en este sector, lo que ayudó a ver qué herramientas realmente funcionan y están consolidadas. A partir de ahí, se pudo seleccionar con más criterio qué tecnologías tienen sentido para ser implantadas en una pequeña empresa del sector.

Según lo indicado en las directrices del proyecto y el anexo, se siguió una metodología que incluye dos partes: por un lado, un análisis cualitativo con la herramienta DAFO y, por otro, un análisis cuantitativo usando el método TOPSIS. Gracias al DAFO, se pudo entender mejor en qué situación está la pyme, y se concluyó que lo más adecuado era aplicar una estrategia defensiva. Esta estrategia se centra en reducir riesgos, mejorar los procesos internos y aprovechar al máximo los recursos con los que cuenta la empresa.

Partiendo de este enfoque, y después de aplicar un filtro que asegura que solo se analicen tecnologías ya probadas por empresas como Inditex, se eligieron tres criterios importantes para hacer el análisis cuantitativo: cuántas empresas del sector deportivo ya usan esas tecnologías, si encajan con la estrategia DAFO que se definió antes y cuánto cuesta implantarlas teniendo en cuenta lo que una pyme realmente puede asumir. Con el método TOPSIS y explicando paso a paso cómo se hizo, se logró obtener un ranking claro y bien justificado con las tecnologías más recomendables para implantar.

Los resultados muestran que la ciberseguridad, el uso de RFID y los sistemas de gestión como ERP, WMS y TMS son las tecnologías más recomendables para una pyme textil que quiera crecer de forma segura y eficiente. Son herramientas que ya usan muchas empresas del sector, encajan muy bien con la estrategia

defensiva definida en el análisis y no suponen un coste desproporcionado. Por eso, representan una buena base para comenzar a digitalizar la empresa y prepararse para avanzar hacia nuevas soluciones más complejas en el futuro.

Con esto, se cumple el objetivo central del trabajo: crear una herramienta clara y útil que ayude a las pymes a decidir qué tecnologías adoptar, aumentando sus opciones de éxito al aplicar soluciones 4.0. La metodología diseñada es lo bastante flexible como para ajustarse a otros entornos o necesidades futuras, y puede usarse tanto para planificar dentro de la empresa como para preparar propuestas de inversión o buscar financiación con argumentos sólidos.

En resumen, este proyecto no solo ofrece una herramienta útil para elegir las tecnologías más adecuadas, sino que también ayuda a que la pyme incorpore una forma de trabajar más reflexiva y ordenada. Gracias a ello, la empresa estará mejor preparada para adaptarse a los cambios del mercado y responder con mayor solidez a los retos que plantea la digitalización.

REFERENCIAS

- Agarwal, R., & Brem, A. (2015). Strategic management of healthcare service delivery innovations: Overcoming adoption challenges through training and education. *Business Process Management Journal*, 21*(6), 1128–1150. \[[<https://doi.org/10.1108/BPMJ-10-2014-0128>]
- Alonso, E., & Soria, L. (2021). Innovación tecnológica y transformación digital en la industria de la moda: El caso de Inditex. *Revista de Estudios Empresariales*, 2(4), 35-48. \[[<https://doi.org/10.32767/ree.2021.04.03>]
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro* (5.ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- Banco Santander. (2023). *Caso de éxito Inditex: Logística y digitalización como claves del liderazgo mundial*. \[[<https://www.bancosantander.es/es/blog/empresas/caso-exito-inditex>]
- Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & distribution science* (Release 0.98). Georgia Institute of Technology.
- Beltrán, S. (2020). La digitalización de las pymes españolas: retos y oportunidades. Fundación COTEC para la Innovación.
- Berman, S. J. (2012). Digital transformation: Opportunities to create new business models. IBM Institute for Business Value.
- Bowersox, D. J., & Closs, D. J. (2002). *Logistics management: The supply chain imperative*. McGraw-Hill.
- Boysen, N., Briskorn, D., & Emde, S. (2018). Parts-to-picker based order processing in warehousing: A survey. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 396–413.
- Capell, J., & Blázquez, M. (2019). Logística inteligente en el sector textil: Estrategias de digitalización en Inditex. *Harvard Deusto Business Review*, 295, 52-59.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). Pearson Education.
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–14. \[[<https://doi.org/10.1108/09574090410700275>]
- Cinco Días. (2018, 13 de abril). Zara AR, la nueva aplicación de realidad aumentada de Inditex. \[[https://cincodias.elpais.com/cincodias/2018/04/13/companias/1523601812_105827.html]
- Cinco Días. (2018, 13 de marzo). Inditex prueba la realidad aumentada en sus tiendas. *Cinco Días*.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (7th ed.). Pearson.
- Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the Internet of Things. *IEEE Access*, 4, 2292–2303. \[[<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2566339>]
- Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). (2022). *CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary*. \[<https://cscmp.org/>]
- Côrte-Real, N., Oliveira, T., & Ruivo, P. (2017). Assessing business value of Big Data Analytics in European firms. *Journal of Business Research*, 70, 379–390. \[[<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.011>]
- Deloitte. (2021). *2021 Global Blockchain Survey*. \[[<https://www2.deloitte.com/global/en/pages/about-deloitte/articles/global-blockchain-survey.html>]
- Deloitte. (2022). Warehouse automation with AMR and AGV: An integrated approach.
- Deloitte Insights. (2021). *Internet of Things in logistics*.
- European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2022). *Cybersecurity for SMEs: Challenges and*

Recommendations. \[<https://www.enisa.europa.eu/publications/cybersecurity-for-smes-challenges-and-recommendations>]

Fernie, J., & Sparks, L. (2019). *Logistics and retail management: Emerging issues and new challenges in the retail supply chain* (5th ed.). Kogan Page.

Frazelle, E. H. (2002). *World-class warehousing and material handling*. McGraw-Hill.

Fulfillment. (2021). The impact of emerging technologies on fulfillment operations. Informe interno.

García, M., & Ortega, E. (2021). Transformación digital y automatización logística en la industria de la moda: El liderazgo de Inditex. *DYNA Ingeniería e Industria*, 96 (4), 367-374.

García-Álvarez, M. T., & González-Álvarez, N. (2019). Logística sostenible y digitalización en la industria textil: Un análisis del grupo Inditex. *Cuadernos de Gestión*, 19 (2), 79-96. \[<https://doi.org/10.5295/cdg.180109mt>]

García-Arcicollar, R. (2021). Inteligencia artificial en la logística textil: El caso Inditex. *Textile World*, 128(3), 34-39.

García-Arcicollar, V. (2021). Inteligencia artificial en Inditex: la tienda del futuro ya está aquí. *Tecnología y Retail*, 5(3), 45-47.

Gartner Research. (2021). *Magic Quadrant for Warehouse Management Systems*.

Gartner Research. (2022). *Hype Cycle for Blockchain Technologies*.

Genovese, A., Acquaye, A., Figueroa, A., & Koh, S. C. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, 66, 344-357. \[<https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>]

Gimenez, C., & Tachizawa, E. M. (2012). Extending sustainability to suppliers: A systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(5), 531-543. \[<https://doi.org/10.1108/13598541211258591>]

Grieves, M., & Vickers, J. (2017). *Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems*. Springer.

Grant, D. B., Wong, C. Y., & Trautrim, A. (2022). *Sustainable logistics and supply chain management* (4th ed.). Kogan Page.

Gutiérrez, P. (2020). Aplicación de la técnica TOPSIS para la selección de tecnologías en pymes industriales [Tesis de máster, Universidad Politécnica de Madrid]. \[<https://oa.upm.es/65392/>]

Gutiérrez, S., & Rubio, F. (2019). Implantación de la Industria 4.0 en la pyme española: barreras, beneficios y factores clave. *Revista de Economía Industrial*, 411, 95-108.

Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34. \[<https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>]

Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag.

Idea InnovALab. (2024). Blockchain y trazabilidad en la cadena de suministro textil. *Informe sectorial*.

Idea InnovALab. (2024). Tendencias tecnológicas aplicadas en empresas del sector textil. \[<https://ideainnovalab.com/informe-textil-2024>]

Inditex. (2018). *Informe anual 2018*. \<https://www.inditex.com/es/informe-anual-2018>

Inditex. (2018). *Memoria Anual 2017*. \[https://static.inditex.com/annual_report_2017/es/memoria_anual_2017.pdf]

Inditex. (2019). *Informe anual 2019*. \[<https://www.inditex.com/es/informe-anual-2019>]

Inditex. (2019). Nota de prensa: Inditex y el MIT firman un acuerdo para promover la investigación en sostenibilidad y análisis de datos. \[<https://www.inditex.com/prensa/noticia/2019/03/19/inditex-mit->

acuerdo-sostenibilidad-datos]

Inditex. (2021a). *Estado de Información No Financiera 2021*.

\[[https://static.inditex.com/annual_report_2021/es/estado_informacion_no_financiera_2021.pdf]

Inditex. (2021a). *Informe anual 2021*. \[[<https://www.inditex.com/es/informe-anual-2021>]

Inditex. (2021b). *Inditex Careers: Centro logístico Marchamalo*.

\[[<https://www.inditexcareers.com/portalweb/es/centros/logistica>]

Inditex. (2021b). *Memoria Anual 2021*.

\[[https://static.inditex.com/annual_report_2021/es/memoria_anual_2021.pdf]

Inditex. (2022). *Estado de Información No Financiera 2022*.

\[[https://static.inditex.com/annual_report_2022/es/estado_informacion_no_financiera_2022.pdf]

Inditex. (2022). *Informe anual 2022*. \[[<https://www.inditex.com/es/informe-anual-2022>]

Inditex. (2023). *Informe anual 2023*. \[[<https://www.inditex.com/es/informe-anual-2023>]

International Federation of Robotics (IFR). (2022). *World Robotics 2022: Industrial robots and service robots*.

ISO/IEC. (2013). *ISO/IEC 27001:2013 Information Security Management*.

Jüttner, U., Christopher, M., & Baker, S. (2007). Demand chain management—integrating marketing and supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 36(3), 377–392.

\[[<https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2006.04.009>]

Klaus, S. (2016). *The Fourth Industrial Revolution: What it means, how to respond*. World Economic Forum.

Kleindorfer, P. R., Singhal, K., & Van Wassenhove, L. N. (2005). Sustainable operations management. *Production and Operations Management*, 14 (4), 482–494. \[[<https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2005.tb00230.x>]

Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89. \[[<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005>]

La Vanguardia. (2020, 10 de marzo). La realidad virtual llega a la formación de los empleados de Inditex. \[[<https://www.lavanguardia.com/economia/20200310/474055820333/realidad-virtual-formacion-empleados-inditex.html>]

La Vanguardia. (2020, 28 de julio). ¿Cómo se forman los empleados del futuro? *La Vanguardia*.

Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2019). *Sistemas de información gerencial* (15ª ed.). Pearson Educación.

Lee, H., & Whang, S. (2001). Winning the last mile of e-commerce. *Sloan Management Review*, 42(4), 54–62.

Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16, 3–8. \[[<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001>]

López, A., & Ruiz, M. (2022). Digitalización y sostenibilidad: El impacto de la tecnología en la cadena de valor textil. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, 51(3), 229–254.

Mapfre Global Risks. (2019). La logística centralizada de Inditex: un modelo.

Mapfre Global Risks. (2019). Tendencias de innovación en logística y transporte. *Informe sectorial*. \[[<https://www.mapfreglobalrisks.com/actualidad/tendencias/logistica-inteligente/>]

Martínez, C., & Pérez, F. (2020). Benchmark tecnológico y digitalización en el sector textil: Comparativa entre Inditex, Nike y Adidas. *Economía Industrial*, 415, 103–119.

McKinsey & Company. (2020). *The Age of Analytics: Competing in a data-driven world*.

McKinsey & Company. (2021). *Fashion's digital transformation: Inditex as a benchmark*. \[[<https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/fashions-digital-transformation>]

- Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., & Patterson, J. L. (2020). *Purchasing and supply chain management* (7^a ed.). Cengage Learning.
- Muñoz, J., & Gallego, F. (2022). Estrategias de automatización y uso de tecnologías 4.0 en la cadena logística de Inditex. *Logística Hoy*, 17 (5), 62-71.
- NIST. (2018). *Cybersecurity Framework v1.1*.
- OECD. (2021). *Ethics of AI and Big Data*.
- Papazoglou, M. P., Traverso, P., Dustdar, S., & Leymann, F. (2007). Service-oriented computing: State of the art and research challenges. *Computer*, 40 (11), 38–45. \[<https://doi.org/10.1109/MC.2007.400>]
- Pereira, Á. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206–1214. \[<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>]
- Porter, M. E. (2008). The five competitive forces that shape strategy. *Harvard Business Review*, 86 (1), 78-93.
- Rifkin, J. (2013). *La tercera revolución industrial: Cómo el poder lateral está transformando la energía, la economía y el mundo*. Paidós.
- Río, M. (2020, 21 de septiembre). Inditex, la logística como factor clave en la transformación digital. *Expansión*. \[<https://www.expansion.com/economia-digital/companias/2020/09/21/5f68380be5fdeaba768b456e.html>]
- Rodríguez, A., & García, R. (2016). Métodos multicriterio para la toma de decisiones: una aplicación al sector industrial. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 21, 30-52.
- Romero, D., & Stahre, J. (2014). Social and operator-driven manufacturing as a strategic resource for the next generation of production systems. *CIRP Annals*, 63 (1), 463-466. \[<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.111>]
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2022). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain* (7th ed.). Kogan Page.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill.
- Salas, E., Tannenbaum, S. I., Kraiger, K., & Smith-Jentsch, K. A. (2012). The science of training and development in organizations: What matters in practice. *Psychological Science in the Public Interest*, 13 (2), 74–101. \[<https://doi.org/10.1177/1529100612436661>]
- Schwab, K. (2017). *La cuarta revolución industrial*. Debate.
- Shih, H. S., Shyur, H. J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45 (7-8), 801-813. \[<https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.023>]
- Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approaches in production based on the Internet of Things paradigm. In *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 697–701). \[<https://doi.org/10.1109/IEEM.2014.7058728>]
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2008). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies and case studies* (3.^a ed.). McGraw-Hill.
- Sivathanu, B. (2017). The impact of knowledge management practices on supply chain agility: A study of Indian manufacturing firms. *Journal of Enterprise Information Management*, 30 (3), 375–395. \[<https://doi.org/10.1108/JEIM-08-2015-0076>]
- Sousa, R., & Rocha, Á. (2019). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252. \[<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.085>]
- Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9 (1), 53–80. \[<https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>]

- Stadtler, H. (2015). Supply chain management: An overview. En H. Stadtler, C. Kilger, & H. Meyr (Eds.), *Supply Chain Management and Advanced Planning* (5.^a ed., pp. 3–28). Springer.
- Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of Things. In *International Conference on Service Systems and Service Management* (pp. 1–6). \[<https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119>\]
- Turban, E., Pollard, C., & Wood, G. (2018). *Information Technology for Management: On-Demand Strategies for Performance, Growth and Sustainability* (11^a ed.). Wiley.
- Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2013). Data science, predictive analytics, and big data: A revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, 34 (2), 77–84. \[<https://doi.org/10.1111/jbl.12010>\]
- Wang, Y., Kung, L., & Byrd, T. A. (2018). Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for healthcare organizations. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 3–13. \[<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.12.019>\]
- Wehrich, H. (1982). The TOWS Matrix—A Tool for Situational Analysis. *Long Range Planning*, 15 (2), 54–66. \[[https://doi.org/10.1016/0024-6301\(82\)90120-0](https://doi.org/10.1016/0024-6301(82)90120-0)\]
- Zhang, D., Lee, H. L., & Huang, G. Q. (2020). Digital twin-driven smart manufacturing: Convergence of artificial intelligence, machine learning, and blockchain. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 112–120. \[<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.08.002>\]

GLOSARIO

AES: Advanced Encryption Standard – Estándar de Cifrado Avanzado

AGV: Automated Guided Vehicle – Vehículo Guiado Automáticamente

AI: Artificial Intelligence – Inteligencia Artificial

AMR: Autonomous Mobile Robot – Robot Móvil Autónomo

Big Data – Macrodatos

Blockchain – Cadena de Bloques

Cobots – Robots Colaborativos

CRM: Customer Relationship Management – Gestión de Relaciones con Clientes

CSCMP: Council of Supply Chain Management Professionals – Consejo de Profesionales de la Cadena de Suministro

DAFO – Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

DLT: Distributed Ledger Technology – Tecnología de Libro Mayor Distribuido

Digital Twins – Gemelos Digitales

Edge Computing – Computación Perimetral

ERP: Enterprise Resource Planning – Planificación de Recursos Empresariales

ENISA: European Union Agency for Cybersecurity – Agencia de la Unión Europea para la Ciberseguridad

Firmware – Software Embebido

GDPR: General Data Protection Regulation – Reglamento General de Protección de Datos

Gateway – Pasarela

HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Points – Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control

Hardware – Equipamiento (componentes físicos)

IFR: International Federation of Robotics – Federación Internacional de Robótica

IAM: Identity and Access Management – Gestión de Identidad y Acceso

IDS: Intrusion Detection System – Sistema de Detección de Intrusiones

IoT: Internet of Things – Internet de las Cosas

IPS: Intrusion Prevention System – Sistema de Prevención de Intrusiones

ISO: International Organization for Standardization – Organización Internacional de Normalización

LIDAR: Light Detection and Ranging – Detección y Alcance de Luz

Machine Learning – Aprendizaje Automático

MCDM: Multi Criteria Decision Making – Toma de Decisiones Multicriterio

ML: Machine Learning – Aprendizaje Automático

NIST: National Institute of Standards and Technology – Instituto Nacional de Estándares y Tecnología

OT: Operational Technology – Tecnología Operativa

RFID: Radio Frequency Identification – Identificación por Radiofrecuencia

RSA: Rivest–Shamir–Adleman

SAE: Society of Automotive Engineers – Sociedad de Ingenieros Automotrices

Smart Contracts – Contratos Inteligentes

SIEM: Security Information and Event Management – Gestión de Información y Eventos de Seguridad

Software – Programa Informático

TLS: Transport Layer Security – Seguridad de la Capa de Transporte

TMS: Transportation Management System – Sistema de Gestión de Transporte

V2X: Vehicle-to-Everything – Vehículo a Todo

Virtual Reality (VR) – Realidad Virtual

WMS: Warehouse Management System – Sistema de Gestión de Almacenes

Wearables – Dispositivos Vestibles

Solicitud de Proyecto para la Determinación de Tecnologías Idóneas y Viables en una Pyme de Moda Deportiva

Nuestra empresa, una pyme joven del sector de la moda deportiva formada por siete trabajadoras, incluidas sus dos fundadoras, con dos años de actividad en el mercado, presenta esta solicitud con el objetivo de obtener apoyo para desarrollar un proyecto estratégico que nos permita identificar cuáles son las tecnologías más idóneas y viables para impulsar nuestra transformación digital y reforzar nuestra competitividad en el contexto económico actual. En un sector textil caracterizado por su dinamismo, elevada competencia y exigencias crecientes en términos de eficiencia, trazabilidad, sostenibilidad y capacidad de adaptación, la incorporación tecnológica se vuelve imprescindible para consolidar y escalar el modelo de negocio.

Somos plenamente conscientes de que la selección de tecnologías no puede basarse en tendencias genéricas ni en propuestas desconectadas de la realidad de una pyme. Por ello, el proyecto se plantea desde una perspectiva rigurosa, adaptada a nuestras capacidades, que combina herramientas de análisis cualitativo y cuantitativo con el fin de garantizar que cada decisión esté orientada a maximizar el impacto positivo de la inversión, reducir riesgos y priorizar soluciones efectivas y sostenibles.

Como punto de partida, se deberá tomar el análisis de un caso real y contrastado de referencia en el sector, concretamente el de una empresa pionera en el ámbito textil que haya integrado con éxito tecnologías 4.0 en sus procesos logísticos y operativos. Este caso servirá como filtro de madurez: únicamente se valorarán aquellas tecnologías que hayan sido implantadas de forma efectiva por dicho referente. Este enfoque permite descartar opciones todavía inmaduras o no suficientemente validadas, asegurando que las soluciones consideradas tienen un historial probado de impacto positivo.

A partir de esta preselección, se llevará a cabo el análisis cualitativo que se estime oportuno donde se deberá tener en cuenta el perfil de empresa pequeña y la investigación sobre los beneficios y retos de cada tecnología. Este análisis se complementará con una valoración cuantitativa que esté diseñada para comparar las alternativas tecnológicas seleccionadas en función de criterios relevantes como su grado de adopción en empresas similares del nicho deportivo, su coste de implantación (adjuntamos una tabla con el coste medio que se estima de la implantación de cada tecnología) y su alineación con la estrategia definida a través del análisis cualitativo.

El resultado será una hoja de ruta clara, fundamentada y realista que no solo identificará las tecnologías más adecuadas para nuestra pyme, sino que también justificará su selección en términos de impacto, viabilidad y alineación con los objetivos de crecimiento. Así, esta propuesta no se limita a definir una solución técnica, sino que responde de forma directa a los requisitos de la convocatoria y refuerza la capacidad de la empresa para tomar decisiones informadas, sostenibles y estratégicas en el proceso de digitalización.

	Adidas	Arc'teryx	Columbia	Hoka	Lululemon	Nike	Patagonia	Puma	TNF	UA
WMS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
TMS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
ERP	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
RFID	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Ciberseguridad	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
AGV/AMR	Sí	No	No	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí
Robots picking	No	No	No	No	No	Sí	No	No	No	Sí
Cobots	Sí	No	No	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí
IA/ML	Sí	NO	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
IoT	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Sensores/Wearables	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
RA Operarios	Sí	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí

TECNOLOGÍAS	COSTE MEDIO
WMS (Warehouse Management System)	65.000 €
TMS (Transport Management System)	50.000 €
ERP (Enterprise Resource Planning)	200.000 €
AGV (Automated Guided Vehicles)	175.000 €
AMR (Autonomous Mobile Robots)	75.000 €
Robots de picking y sorting	115.000 €
Cobots (robots colaborativos)	30.000 €
Modelos de predicción de demanda	80.000 €
Algoritmos de optimización de rutas y carga	65.000 €
Sistemas de asignación dinámica de recursos	55.000 €
Gemelos digitales (Digital Twins)	140.000 €
Etiquetas RFID (infraestructura + tags)	200.000 €
Beacons Bluetooth	35 €
Sensores de temperatura	100 €
Sensores de humedad	100 €
Sensores de vibración	200 €
Dispositivos wearables (manos libres, AR)	2.000 €
Red privada 5G	350.000 €
Red LoRaWAN	325.000 €
Red Zigbee	20.000 €
Edge Computing	65.000 €
Plataformas IoT en la nube (licencia anual)	30.000 €
Plataformas DLT / Blockchain	100.000 €
Smart Contracts	40.000 €
Protocolos TLS/SSL (infraestructura)	10.000 €
VPN corporativo	20.000 €
IAM (Gestión de Identidades y Accesos)	40.000 €
IDS/IPS (detección/respuesta a intrusiones)	55.000 €
Gafas AR (p.ej. HoloLens, RealWear)	40.000 €
Apps de superposición AR	70.000 €
Simuladores VR para formación	100.000 €
Vehículos autónomos (por unidad)	350.000 €
Integración Vehicle-to-Everything (V2X)	55.000 €
Drones de inspección UAV	12.500 €
Drones de última milla para reparto	30.000 €