



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Fundamentos de diseño y de automatización de operaciones de
centros logísticos de almacenamiento: caso de aplicación a
almacenes de Amazon

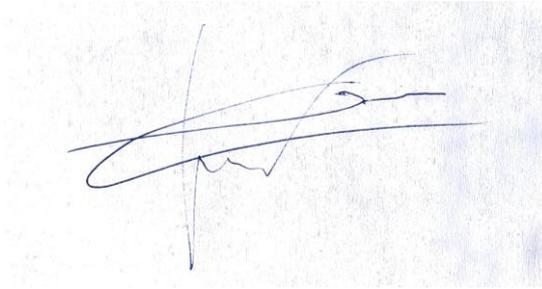
Autor: Rodrigo Beato Pereiro

Director: Daniel Fernández Alonso

Madrid

Agosto de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Fundamentos de diseño y de automatización de operaciones de centros logísticos de
almacenamiento: caso de aplicación a almacenes de Amazon”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

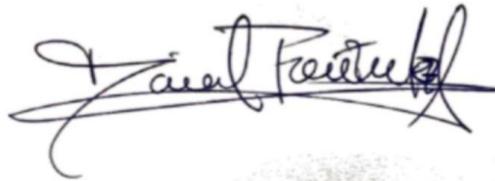


Fdo.: Rodrigo Beato Pereiro

Fecha: 19/ 08/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Daniel Fernández Alonso

Fecha: 19/ 08/ 2025

Fundamentos de diseño y de automatización de operaciones de centros logísticos de almacenamiento: caso de aplicación a almacenes de Amazon

Autor: Rodrigo Beato Pereiro

Director: Daniel Fernández Alonso

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En los últimos años, la logística ha experimentado una transformación profunda que ha colocado al almacén en el centro de la estrategia operativa de muchas empresas. Lo que tradicionalmente era un espacio de soporte, dedicado únicamente a guardar mercancías y servir pedidos, ha pasado a ser una pieza clave en la competitividad de la organización. La razón es clara, el mercado exige entregas cada vez más rápidas, sin errores y con información en tiempo real del estado de cada pedido. El crecimiento del comercio electrónico ha intensificado esta presión, introduciendo picos de demanda más pronunciados, una mayor variedad de referencias y un incremento notable de las devoluciones. Para muchas pequeñas y medianas empresas, esta situación se traduce en problemas diarios como recorridos excesivos en las operaciones de preparación, errores en la expedición, falta de espacio útil o inventarios poco fiables. Todo ello termina repercutiendo en un coste por pedido que no se reduce, incluso cuando el volumen de actividad aumenta.

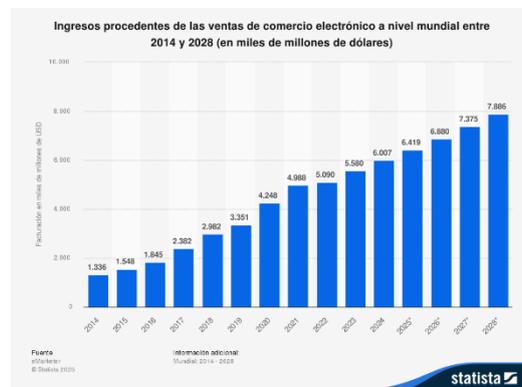


Ilustración 1. Gráfico de facturación del e-commerce mundial

El problema central que aborda este trabajo es cómo diseñar y operar un almacén que sea eficiente y escalable, especialmente cuando los recursos disponibles son

limitados. El reto consiste en encontrar un equilibrio entre cuatro variables que se influyen mutuamente: la productividad, medida como las líneas procesadas por hora y operario; la precisión, que refleja el porcentaje de pedidos sin errores; el tiempo, tanto en términos de rapidez para ubicar la mercancía desde que llega al muelle hasta su almacenamiento definitivo como en el plazo de preparación; y el coste, calculado por pedido o por línea procesada. La motivación no es implantar tecnología sin motivo y control, sino ordenar las decisiones de mejora de forma que se optimice primero lo básico (el diseño del layout, la organización de procesos y la gestión de datos), después se introduzcan herramientas digitales que aporten visibilidad y control, y solo entonces se evalúe la automatización física de manera modular y escalable. En definitiva, se busca que cualquier empresa, sin importar su tamaño, pueda decidir con claridad cuál debe ser su próximo paso para mejorar, asegurando que esa decisión tenga un impacto real y medible.

Este trabajo persigue construir un marco práctico que conecte el diseño clásico de almacenes, la digitalización y las tecnologías emergentes, los aprendizajes obtenidos del caso de Amazon y un modelo de madurez capaz de orientar inversiones y priorizar acciones de mejora. A partir de este enfoque general, se definen objetivos concretos. El primero es sintetizar las decisiones fundamentales que se toman en un almacén clásico, como la elección del layout, la estrategia de colocación de referencias, la definición de flujos internos, la selección de los medios de manipulación y la organización de los procesos. El segundo es identificar qué tecnologías y capas de software resultan más útiles según el problema a resolver, ya sea la trazabilidad, la reducción de errores, el aumento de la capacidad o la gestión de la variabilidad, y cómo deben integrarse para funcionar de manera coherente. El tercero es analizar el caso de Amazon con el fin de extraer principios que puedan trasladarse a entornos más pequeños, evitando replicar soluciones que solo funcionan a gran escala. Finalmente, el cuarto objetivo es proponer un modelo de madurez con cinco niveles, desde el 0 al 4, basado en cuatro indicadores troncales, que sirva para diagnosticar la situación actual de un almacén y trazar una hoja de ruta de mejora.

El alcance de este proyecto se limita a almacenes de temperatura ambiente, tanto en operaciones de comercio electrónico como de distribución tradicional, que incluyan procesos de recepción, almacenamiento, reposición, preparación de pedidos, consolidación y expedición. Quedan fuera de este análisis las operaciones de frío o ultracongelado, la gestión de mercancías peligrosas y aquellas soluciones de automatización completamente cerradas y poco adaptables.

La metodología combina la revisión de fundamentos del diseño clásico con el análisis de tecnologías y software, un estudio del caso de Amazon para extraer aprendizajes transferibles y la construcción de un modelo de madurez basado en indicadores claros y acciones recomendadas para cada nivel.

El primer pilar del trabajo es el diseño clásico de almacenes. Aquí la atención se centra en comprender que la base de cualquier operación eficiente es una distribución física bien pensada. Elegir un layout adecuado, ya sea en forma de U, I, L u otra configuración, no es una cuestión estética, sino una decisión estratégica que debe responder a la ubicación de los muelles, la secuencia de los procesos y el flujo de mercancías. La zonificación correcta, separando claramente la recepción, el control de calidad, el almacenamiento, la reposición, la preparación, la consolidación y la expedición, es esencial para evitar recorridos innecesarios. Junto a ello, la estrategia de colocación de las referencias permite optimizar la preparación de pedidos acercando los productos de mayor rotación a las zonas de picking y adaptando la ubicación a características como el volumen, la fragilidad o la necesidad de aplicar métodos como FEFO.

La selección de los medios de manipulación debe estar alineada con las necesidades reales del almacén. No se trata de acumular equipos, sino de disponer de aquellos que faciliten un movimiento seguro y eficiente como el uso de transpaletas y apiladores para distancias cortas y alturas moderadas. Del mismo modo, los procesos deben estar estandarizados. Una recepción ágil con verificación y etiquetado o métodos de picking adaptados al perfil del pedido marcan la diferencia en la productividad. Los indicadores clave en este apartado son la productividad, la precisión, el tiempo y el coste, que permiten detectar los compromisos que se asumen en el día a día.

El segundo pilar del trabajo es la tecnología y la digitalización. La experiencia demuestra que la tecnología no sustituye al diseño clásico, sino que multiplica sus beneficios cuando se aplica de forma coherente. El punto de partida suele ser la implantación de herramientas digitales que aporten visibilidad y control sobre la operación. En este sentido, destaca el WMS, un sistema de gestión de almacenes que define la ubicación de las referencias, organiza las reposiciones y lanza los órdenes de preparación. Cuando la complejidad lo requiere, se incorpora un sistema de ejecución de almacén (WES), que ajusta las cargas de trabajo en tiempo real, y un sistema de control (WCS) gobierna los equipos automáticos. La clave está en definir claramente qué sistema toma cada decisión y con qué horizonte

temporal: el WMS organiza los recursos y las ubicaciones; el WES equilibra el trabajo a escala de minutos; y el WCS se ocupa de las máquinas.



Ilustración 2. Funcionamiento conjunto de WES, WMS y WCS

Para las pequeñas y medianas empresas, las tecnologías que ofrecen un retorno más claro suelen ser las ayudas al picking, los robots móviles ligeros que transportan carros y reducen recorridos en layouts estables o sistemas de clasificación básicos. También resulta clave implementar trazabilidad sencilla mediante escáneres y etiquetas bien diseñadas. Sin embargo, es igual de importante saber cuándo no introducir tecnología: si la demanda es baja o muy variable, si el catálogo cambia constantemente o si el layout aún no está optimizado, la automatización puede inmovilizar capital y añadir rigidez. En todos los casos, la modularidad debe guiar las decisiones, empezando por soluciones pequeñas y escalando solo cuando se haya probado su eficacia. La digitalización bien planteada no solo mejora el flujo de trabajo, sino que genera datos valiosos para detectar cuellos de botella, ubicar incidencias y tomar decisiones basadas en evidencia sobre los siguientes pasos a dar.

El tercer pilar del trabajo es el análisis del caso de Amazon. Este gigante del comercio electrónico ha sido uno de los actores que más ha transformado la logística de almacenes en la última década. La compra de Kiva Systems en 2012 marcó un punto de inflexión hacia un modelo de “goods-to-person” que revolucionó la preparación de pedidos al reducir drásticamente los desplazamientos de los operarios. En lugar de que las personas recorrieran pasillos para buscar artículos, son los robots quienes llevan las estanterías hasta las estaciones de trabajo, donde el operario se limita a recoger o colocar los productos indicados. Este cambio ha permitido a Amazon mejorar la productividad, reducir la fatiga del personal y aumentar la precisión en la preparación.

En los últimos años, Amazon ha continuado evolucionando sus soluciones, incorporando tecnologías como Sequoia, que optimiza el flujo desde el muelle hasta el almacenamiento, o Sparrow, un brazo robótico capaz de manipular artículos de manera individual. A ello se suman diferentes tipos de robots móviles: Titan, Proteus, Hercules y Pegasus, diseñados para transportar cargas, clasificar pedidos y mover inventario en función de la demanda. El impacto no solo se observa en la velocidad de preparación, sino también en la seguridad. La automatización ha contribuido a reducir el número de lesiones en operaciones repetitivas o de alto esfuerzo físico.

Sin embargo, este trabajo no busca replicar el modelo de Amazon al detalle, ya que se trata de una compañía con una escala, un presupuesto y una infraestructura muy superiores a las de la mayoría de las empresas. El interés está en identificar los principios que pueden trasladarse a entornos más pequeños. Entre ellos destacan la orquestación de la operación mediante capas de software bien definidas, la reducción sistemática de desplazamientos internos, el uso de datos para reorganizar la ubicación de productos en función de la demanda y la flexibilidad para adaptarse a picos y valles de actividad. Lo esencial no es el robot en sí, sino la lógica operativa que hay detrás: optimizar los flujos, balancear la carga de trabajo entre zonas y mantener una alta calidad de datos para que las decisiones sean precisas. También es importante reconocer que algunas soluciones de Amazon no son viables para una PYME debido a sus elevados costes y complejidad, por lo que deben adaptarse o sustituirse por alternativas más modulares y asequibles.

El cuarto pilar del proyecto es el modelo de madurez propuesto. Este modelo describe cinco niveles, desde el nivel 0, que representa una operación muy básica sin digitalización ni estandarización, hasta el nivel 4, que integra automatización avanzada y optimización en tiempo real. Cada nivel se caracteriza y se mide en función de cuatro indicadores principales: la productividad, expresada en líneas por hora por operario; la precisión, que mide el porcentaje de pedidos sin error; el tiempo, evaluado tanto en el dock-to-stock como en el plazo de preparación de pedidos; y el coste, calculado por pedido. La combinación de estos indicadores permite obtener una visión clara del rendimiento global y, lo que es más importante, identificar qué áreas necesitan una intervención prioritaria.

El modelo no se limita a diagnosticar, sino que propone rutas de mejora adaptadas a cada nivel. Por ejemplo, una operación en nivel 0 podría avanzar hacia el nivel

1 introduciendo un etiquetado claro, un escaneo básico y reglas de ubicación sencillas. El paso del nivel 1 al nivel 2 podría implicar la implantación de un WMS básico, sistemas de ayuda al picking y la reorganización del layout para reducir recorridos. A partir de ahí, el salto a niveles superiores iría incorporando robots móviles, sistemas de clasificación más sofisticados y, finalmente, automatización de alta densidad con orquestación en tiempo real. Este enfoque progresivo permite que la inversión se realice de manera escalonada, midiendo el retorno de cada paso y evitando proyectos demasiado grandes que puedan bloquear recursos.

Nivel	Descripción del nivel	Soluciones y prácticas típicas	Implicaciones
0. Manual tradicional	Operación manual sin sistemas de gestión, procesos poco estandarizados y alta tasa de error.	Control de stock básico, registro manual de entradas y salidas.	Baja fiabilidad de inventario, errores frecuentes y dificultad para aumentar el volumen sin perder control operativo.
1. Digital básico	Uso de herramientas informáticas sencillas, con ejecución aún manual y listas impresas.	ERP con módulo logístico básico, control de entradas y salidas digitalizado, pero no integrado.	Mejora parcial de trazabilidad y reducción ligera de errores, pero la productividad sigue siendo limitada.
2. Automatización parcial	Inicio de la automatización con terminales móviles, picking guiado y gestión automatizada de ubicaciones.	Rutas optimizadas, asignación automática de tareas, WMS básico.	Aumento significativo de productividad, reducción de tiempos de preparación y mayor precisión en pedidos.
3. Automatización avanzada	Integración de sistemas y soluciones para automatizar tareas repetitivas como transporte interno o clasificación.	AGV/AMR, transportadores, estaciones de picking asistido, WES para balanceo de carga.	Coste por pedido más estable incluso en picos, reducción de ciclos y mejor aprovechamiento del espacio.
4. Automatización inteligente	Integración total entre sistemas y optimización continua con algoritmos de planificación.	Sistemas goods-to-person, AS/RS, orquestación en tiempo real.	Eficiencia máxima, errores prácticamente nulos y alta capacidad de respuesta ante cambios en la demanda.

Ilustración 3. Tabla Resumen Modelo Logístico

El valor del modelo reside en que no se trata de una herramienta teórica, sino de una guía práctica para tomar decisiones. Una PYME puede usarlo para ubicar su operación actual, definir un objetivo realista a medio plazo y priorizar las acciones con mayor impacto en los indicadores clave.

En conjunto, este trabajo aporta una visión ordenada de cómo mejorar un almacén combinando el conocimiento del diseño clásico con el potencial de la digitalización y la automatización, siempre desde un punto de vista práctico y adaptado a las limitaciones reales de una empresa mediana. El análisis del caso de Amazon permite ver hasta dónde puede llegar la tecnología cuando se implementa con coherencia, pero también sirve para entender que el éxito no está en copiar soluciones costosas, sino en aplicar los principios operativos que las sustentan. El modelo de madurez actúa como puente entre la teoría y la acción, ofreciendo un camino claro y flexible hacia operaciones más eficientes, precisas y competitivas.

Como cierre, puede afirmarse que el trabajo propone un enfoque pragmático: empezar por optimizar lo que ya se tiene, digitalizar para ganar control y visibilidad, y automatizar solo cuando el contexto y los datos lo avalen. De esta forma, las empresas pueden mejorar su capacidad de respuesta, reducir errores, optimizar costes y ofrecer un servicio más consistente, todo ello sin perder de vista la realidad de sus recursos y su mercado.

"Design Fundamentals and Automation of Logistics Warehouse Operations: Application Case to Amazon Warehouses"

Author: Rodrigo Beato Pereiro

Supervisor: Daniel Fernández Alonso

Collaborating Institution: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

PROJECT SUMMARY

In recent years, logistics has undergone a profound transformation that has placed the warehouse at the heart of the operational strategy of many companies. What was traditionally a supporting space, dedicated solely to storing goods and fulfilling orders, has become a key element in an organization's competitiveness. The reason is clear: the market demands increasingly faster deliveries, free from errors, and with real-time information on the status of each order. The growth of e-commerce has intensified this pressure, introducing sharper peaks in demand, a greater variety of products, and a significant increase in returns. For many small and medium-sized enterprises, this situation translates into daily problems such as excessive travel distances in picking operations, mistakes in dispatch, a lack of usable storage space, or unreliable inventory data. All of this ultimately results in an order cost that does not decrease, even when the volume of activity increases.

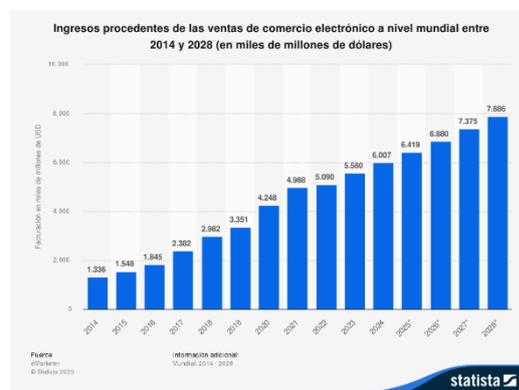


Ilustración 4. Gráfico de facturación del ecommerce mundial

The central problem addressed in this project is how to design and operate a warehouse that is both efficient and scalable, especially when the available resources are limited. The challenge lies in finding a balance between four interdependent variables: productivity, measured as the number of lines processed per hour per operator; accuracy, which reflects the percentage of error-free orders;

time, both in terms of speed from dock to stock and the order preparation lead time; and cost, calculated per order or per processed line. The aim is not to implement technology without reason and control, but to structure improvement decisions in such a way that the basics are optimized first, including layout design, process organization, and data management. Only after that should digital tools be introduced to provide visibility and control, and finally, physical automation should be evaluated in a modular and scalable manner. The goal is to enable any company, regardless of size, to clearly decide on its next improvement step, ensuring that this decision has a real and measurable impact.

This work aims to build a practical framework that connects classical warehouse design, digitalization and emerging technologies, lessons learned from the Amazon case study, and a maturity model capable of guiding investments and prioritizing improvement actions. From this general approach, specific objectives are defined. The first is to synthesize the fundamental decisions made in a traditional warehouse, such as layout selection, slotting strategies, definition of internal flows, selection of handling equipment, and organization of processes. The second is to identify which technologies and software layers are most useful depending on the problem to be addressed, whether it is traceability, error reduction, capacity increase, or variability management, and how they should be integrated to work coherently. The third is to analyze the Amazon case to extract principles that can be transferred to smaller-scale environments, avoiding the replication of solutions that only work at large scale. Finally, the fourth objective is to propose a maturity model with five levels, from 0 to 4, based on four core indicators, which can be used to diagnose the current situation of a warehouse and create a roadmap for improvement.

The scope of this project is limited to ambient-temperature warehouses, both in e-commerce and in traditional distribution, that include receiving, storage, replenishment, order picking, consolidation, and dispatch processes. This analysis excludes cold or frozen operations, hazardous materials handling, and fully closed automation solutions with low adaptability. The methodology combines a review of the fundamentals of classical warehouse design with an analysis of technologies and software, a case study of Amazon to extract transferable lessons, and the development of a maturity model based on clear indicators and recommended actions for each level.

The first pillar of the project is classical warehouse design. The focus here is on understanding that the basis of any efficient operation is a well-conceived physical layout. Choosing an appropriate layout, whether U-shaped, I-shaped, L-shaped,

or another configuration, is not a matter of aesthetics but a strategic decision that must respond to the placement of docks, the sequence of processes, and the flow of goods. Proper zoning, with a clear separation between receiving, quality control, storage, replenishment, picking, consolidation, and dispatch, is essential to avoid unnecessary travel distances. In addition, the slotting strategy makes it possible to optimize order preparation by placing high-rotation products closer to the picking zones and adapting their location according to characteristics such as volume, fragility, or the need to apply methods such as FEFO.

The selection of handling equipment must be aligned with the actual needs of the warehouse. It is not about accumulating machines, but about having those that allow safe and efficient movement, such as pallet trucks and stackers for short distances and moderate heights. Similarly, processes should be standardized. An agile receiving process with verification and labeling, or picking methods adapted to the order profile, can make a decisive difference in productivity. The key indicators in this section are productivity, accuracy, time, and cost, which allow for the identification of the trade-offs assumed in daily operations.

The second pillar of the project is technology and digitalization. Experience shows that technology does not replace classical design, but rather multiplies its benefits when applied coherently. The starting point is usually the implementation of digital tools that provide visibility and control over operations. In this regard, the Warehouse Management System (WMS) stands out as it defines storage locations, organizes replenishment, and initiates picking orders. When the complexity of operations requires it, a Warehouse Execution System (WES) is added to adjust workloads in real time, while a Warehouse Control System (WCS) governs automated equipment. The key is to clearly define which system makes each decision and over what time frame. The WMS organizes resources and locations, the WES balances workloads on a minute-by-minute scale, and the WCS manages the machines.



Ilustración 5. Funcionamiento conjunto de WES, WMS y WCS

For small and medium-sized enterprises, the technologies that offer the clearest return often include picking aids, lightweight mobile robots that transport carts and reduce travel distances in stable layouts, and basic sorting systems. It is also essential to implement simple traceability through scanning devices and well-designed labels. Equally important is knowing when not to introduce technology. If demand is low or highly variable, if the product catalogue changes frequently, or if the layout is not yet optimized, automation can tie up capital and add rigidity. In all cases, modularity should guide decisions, starting with small-scale solutions and scaling up only once their effectiveness has been proven. Well-designed digitalization not only improves workflow but also generates valuable data to detect bottlenecks, locate recurring issues, and make evidence-based decisions about the next steps to take.

The third pillar of the project is the analysis of the Amazon case. This e-commerce giant has been one of the main drivers of change in warehouse logistics over the past decade. The acquisition of Kiva Systems in 2012 marked a turning point toward a goods-to-person model that revolutionized order preparation by drastically reducing operator travel distances. Instead of employees walking through aisles to locate items, robots bring shelving units to workstations, where the operator simply picks or places the indicated products. This shift has enabled Amazon to improve productivity, reduce operator fatigue, and increase picking accuracy.

In recent years, Amazon has continued to evolve its solutions, incorporating technologies such as Sequoia, which optimizes the flow from dock to storage, and Sparrow, a robotic arm capable of handling individual items. In addition, different types of mobile robots have been introduced, including Titan, Proteus, Hercules, and Pegasus, designed to transport loads, sort orders, and move inventory according to demand. The impact of these developments is seen not only in faster order preparation but also in improved safety, as automation has helped reduce the number of injuries in repetitive or physically demanding tasks.

However, this project does not aim to replicate Amazon's model in detail, as the company operates at a scale, with a budget and infrastructure far beyond that of most enterprises. The interest lies in identifying principles that can be applied to smaller-scale environments. These include orchestrating operations through clearly defined software layers, systematically reducing internal travel distances, using data to reorganize product locations according to demand, and maintaining flexibility to adapt to peaks and troughs in activity. The focus is not on the robot

itself, but on the operational logic behind it: optimizing flows, balancing workloads between zones, and ensuring high-quality data so that decisions are accurate. It is also important to recognize that some of Amazon’s solutions are not viable for SMEs due to their high cost and complexity, and must therefore be adapted or replaced with more modular and affordable alternatives.

The fourth pillar of the project is the proposed maturity model. This model describes five levels, from level 0, representing a very basic operation without digitalization or standardization, to level 4, which integrates advanced automation and real-time optimization. Each level is characterized and measured using four key indicators: productivity, expressed in lines per hour per operator; accuracy, measured as the percentage of error-free orders; time, evaluated both in dock-to-stock and in order preparation lead time; and cost, calculated per order. The combination of these indicators provides a clear view of overall performance and, more importantly, reveals which areas require priority intervention.

The model goes beyond diagnosis and offers improvement paths tailored to each level. For example, an operation at level 0 might move to level 1 by introducing clear labeling, basic scanning, and simple location rules. The transition from level 1 to level 2 could involve implementing a basic WMS, adding picking aids, and reorganizing the layout to reduce travel distances. From there, moving to higher levels could include incorporating mobile robots, more sophisticated sorting systems, and eventually, high-density automation with real-time orchestration. This progressive approach ensures that investment is made gradually, with the return on each step being measured, and avoids large projects that could tie up excessive resources.

Nivel	Descripción del nivel	Soluciones y prácticas típicas	Implicaciones
0. Manual tradicional	Operación manual sin sistemas de gestión, procesos poco estandarizados y alta tasa de error.	Control de stock básico, registro manual de entradas y salidas.	Baja fiabilidad de inventario, errores frecuentes y dificultad para aumentar el volumen sin perder control operativo.
1. Digital básico	Uso de herramientas informáticas sencillas, con ejecución aún manual y listas impresas.	ERP con módulo logístico básico, control de entradas y salidas digitalizado, pero no integrado.	Mejora parcial de trazabilidad y reducción ligera de errores, pero la productividad sigue siendo limitada.
2. Automatización parcial	Inicio de la automatización con terminales móviles, picking guiado y gestión automatizada de ubicaciones.	Rutas optimizadas, asignación automática de tareas, WMS básico.	Aumento significativo de productividad, reducción de tiempos de preparación y mayor precisión en pedidos.
3. Automatización avanzada	Integración de sistemas y soluciones para automatizar tareas repetitivas como transporte interno o clasificación.	AGV/AMR, transportadores, estaciones de picking asistido, WES para balanceo de carga.	Coste por pedido más estable incluso en picos, reducción de ciclos y mejor aprovechamiento del espacio.
4. Automatización inteligente	Integración total entre sistemas y optimización continua con algoritmos de planificación.	Sistemas goods-to-person, AS/RS, orquestación en tiempo real.	Eficiencia máxima, errores prácticamente nulos y alta capacidad de respuesta ante cambios en la demanda.

Ilustración 6. Tabla Resumen Modelo Logístico

The value of the model lies in the fact that it is not a theoretical tool but a practical guide for decision-making. An SME can use it to determine its current operational level, set a realistic medium-term goal, and prioritize the actions that will have the greatest impact on the key indicators.

Overall, this project provides a structured view of how to improve a warehouse by combining the knowledge of classical design with the potential of digitalization and automation, always from a practical perspective and adapted to the real constraints of a medium-sized company. The analysis of the Amazon case demonstrates how far technology can go when implemented coherently, but it also shows that success lies not in copying costly solutions, but in applying the operational principles that underpin them. The maturity model serves as a bridge between theory and action, offering a clear and flexible path toward more efficient, accurate, and competitive operations.

In conclusion, the project proposes a pragmatic approach: start by optimizing existing resources, digitalize to gain control and visibility, and automate only when the context and data support it. In this way, companies can enhance their responsiveness, reduce errors, optimize costs, and deliver a more consistent service, all while keeping in mind the reality of their resources and their market.

Índice de la memoria

Índice de la memoria	17
Capítulo 1. Introducción y Motivación	20
1.1 Contexto y motivación	20
1.2 Problema y oportunidad	21
1.3 Objetivos del proyecto	23
1.4 Alcance y limitaciones del estudio	24
1.5 Metodología empleada	26
Capítulo 2 Fundamentos del Almacén Clásico	28
2.1 Principios de diseño del almacén tradicional	28
2.1.1 Principios fundamentales del diseño	28
2.1.2 Tipología y clasificación de almacenes	31
2.1.3 Zonificación interna y layout físico	35
2.1.4 Criterios de ubicación y rotación de productos	40
2.1.5 Sistemas de almacenaje y manipulación convencionales	42
2.1.6 Limitaciones estructurales del modelo tradicional	45
2.2 Procesos logísticos en almacenes clásicos	47
2.2.1 Visión general de los procesos logísticos tradicionales	48
2.3 Indicadores clave de rendimiento en almacenes tradicionales	50
2.4 Costes, implantación y decisiones económicas	52
Capítulo 3. Automatización de los centros logísticos	56
3.1 Fundamentos y justificación de la automatización	56
3.2 Tecnologías de automatización aplicables a almacenes	57
3.2.1 Tecnologías físicas de automatización	57
3.2.2 Tecnologías digitales de gestión y control	61
3.3 Costes y decisiones económicas de la automatización logística	64
Capítulo 4. Caso de Amazon	68
4.1 Evolución de Amazon en automatización logística	68
4.2 Tecnologías implantadas por Amazon	70
4.3 Modelo de integración y coordinación cooperativa	72
4.4 Impacto operativo y económico	74
Capítulo 5. Modelo de Madurez Logística para la Automatización	76
5.1 Fundamentos metodológicos del modelo	76
5.2 Definición de los niveles de madurez	77
5.3 KPIs y métricas del modelo	79
5.4 Tabla del modelo de madurez	81

5.5 Costes de la implementación por nivel	84
Capítulo 6. Conclusiones	86
Referencias	88

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Gráfico de facturación del ecommerce mundial	5
Ilustración 2. Funcionamiento conjunto de WES, WMS y WCS	8
Ilustración 3. Tabla Resumen Modelo Logístico	10
Ilustración 4. Gráfico de facturación del ecommerce mundial	11
Ilustración 5. Funcionamiento conjunto de WES, WMS y WCS	13
Ilustración 6. Tabla Resumen Modelo Logístico	15
Ilustración 7. Almacén de fábrica	31
Ilustración 8. Centro de Cross Docking	32
Ilustración 9. Almacén frigorífico	34
Ilustración 10. Ejemplo gráfico del layout de un almacén	37
Ilustración 11. Layout en U	38
Ilustración 12. Layout en I	38
Ilustración 13. Layout en L	39
Ilustración 14. Layout en T	40
Ilustración 15. Estantería compacta drive-in	43
Ilustración 16. Estantería dinámica	44
Ilustración 17. Transpaleta manual	45
Ilustración 18. MVGM. Informe de mercado inmobiliario en Iberia Q4 2023	53
Ilustración 19. AS/RS	58
Ilustración 20. Cobot despaletizador	59
Ilustración 21. AMR	59
Ilustración 22. Robot AGV	60
Ilustración 23. Funcionamiento conjunto de WES, WMS y WCS	63
Ilustración 24. Kiva Systems	68
Ilustración 25. Robot Sparrow de Amazon Robotics	70
Ilustración 26. Robot Titan de Amazon Robotics	71
Ilustración 27. Robot Proteus de Amazon Robotics	71
Ilustración 28. Centro Lógico de Amazon	73
Ilustración 29. Facturación de Amazon hasta el 2020	74
Ilustración 30. Elaboración propia	82
Ilustración 31. Elaboración propia	83



Capítulo 1. Introducción y Motivación

1.1 Contexto y motivación

El comercio electrónico ha transformado de manera radical los hábitos de consumo y las operaciones logísticas a nivel global. En tan solo una década, el volumen de ventas online ha experimentado un crecimiento exponencial. Según datos de Statista, el ingreso por ventas de e-commerce superó los 6.000 miles de millones USD en 2024 a nivel mundial, prácticamente duplicando las cifras del año 2019 (Statista, 2024). Este aumento no solo refleja una mayor adopción digital por parte de los consumidores, sino también una expectativa creciente en cuanto a rapidez, personalización y eficiencia en las entregas.

Este nuevo paradigma plantea exigencias logísticas sin precedentes. Las empresas se ven obligadas a gestionar inventarios en tiempo real, procesar miles de pedidos diarios y garantizar entregas en plazos cada vez más reducidos. En este contexto, la eficiencia operativa y la capacidad de adaptación pasan de ser ventajas competitivas a requisitos mínimos para la supervivencia empresarial.

La automatización de los centros logísticos surge como respuesta estratégica a este escenario. Lejos de limitarse a una cuestión de reducción de costes, la automatización representa una herramienta transversal que afecta directamente a la productividad, la sostenibilidad y la resiliencia de las operaciones. Grandes compañías como Amazon han demostrado que integrar tecnologías robóticas no solo permite acortar los ciclos de preparación de pedidos, sino también reducir errores, mejorar la trazabilidad y optimizar el uso del espacio disponible. Amazon, por ejemplo, ha desplegado más de 750.000 unidades robóticas en sus centros logísticos, lo que le ha permitido mejorar drásticamente su rendimiento operativo (Business Insider, 2025).

No obstante, este proceso no está exento de retos. Factores como la inversión inicial, la transformación de infraestructuras existentes o la necesidad de formar al personal representan barreras especialmente difíciles para empresas pequeñas y medianas. A



pesar de todo esto, los beneficios a medio y largo plazo justifican un análisis serio de las posibilidades de automatización incluso para entornos no industriales o con recursos limitados.

Este proyecto nace precisamente de esa relación entre oportunidad y coste. Analizar cómo la automatización puede adaptarse tanto a grandes corporaciones como a PYMES, con soluciones escalables y variables, se vuelve imprescindible. La motivación de este trabajo es ofrecer una mirada crítica y realista sobre la transformación de los centros logísticos, explorando no solo lo que ya ha conseguido Amazon, sino también lo que aún queda por resolver, especialmente en empresas que aún operan con modelos tradicionales.

1.2 Problema y oportunidad

La expansión del comercio electrónico no solo ha redefinido las relaciones entre consumidores y empresas, sino que ha transformado de raíz la cadena de suministro y la forma en que se concibe el almacenamiento. Lo que antes era un proceso lineal, con tiempos relativamente holgados y márgenes de error asumibles, ha pasado a convertirse en una operación crítica, donde cualquier fallo o retraso impacta directamente en la experiencia del cliente y, por extensión, en la rentabilidad del negocio.

Uno de los mayores retos logísticos que plantea este nuevo escenario es la gestión de pedidos de alta rotación, con volúmenes variables y bajo una demanda muy fluctuante. La necesidad de responder en plazos muy reducidos a tensionado los sistemas logísticos tradicionales, que a menudo se basan en operaciones manuales, flujos rígidos y estructuras poco flexibles. Esto provoca cuellos de botella, errores de picking, acumulación de stock o roturas de inventario, situaciones que afectan directamente a los costes y a la imagen de la empresa.

En paralelo, se ha consolidado un perfil de consumidor más exigente, que no solo valora el precio del producto, sino también factores como la rapidez, la transparencia en el proceso de envío, la posibilidad de devolución inmediata y la personalización



del servicio. La logística se ha convertido, por tanto, en un factor diferencial de la propuesta de valor de muchas empresas, sobre todo en el sector retail.

Un ejemplo claro de esta presión es el modelo de entregas en 24 o incluso 12 horas, que plataformas como Amazon han conseguido imponer como estándar. Este nivel de exigencia ha obligado al resto del sector a adaptar su estructura logística, aunque no siempre con éxito. Y es que, según Azumuta (2024) el 80% de las empresas no se sienten preparadas para la Industria 4.0, recalcando que esta falta de competencias no va a desaparecer pronto y que ignorarlas podría dejar a las empresas ancladas en el pasado.

Además, hay un elemento menos visible pero igual de relevante, la presión por la sostenibilidad. Las operaciones logísticas suponen una parte importante de la huella de carbono de cualquier empresa, especialmente en el transporte de última milla y en la ineficiencia energética de almacenes mal diseñados o saturados. Reducir estos impactos requiere transformar los modelos actuales hacia soluciones más automatizadas, capaces de optimizar rutas, minimizar desplazamientos innecesarios y aprovechar mejor los recursos energéticos disponibles.

Frente a este conjunto de desafíos, las soluciones tecnológicas han avanzado con rapidez, pero su adopción real sigue siendo desigual. Las grandes corporaciones han liderado la automatización de sus almacenes con inversiones multimillonarias y desarrollos propios, Amazon Robotics es un ejemplo de ello, mientras que muchas PYMES siguen gestionando sus centros con hojas de cálculo y procesos manuales, sin capacidad de adaptación ni recursos para emprender transformaciones profundas.

Esta brecha tecnológica y operativa entre grandes y pequeñas empresas representa uno de los principales problemas estructurales de la logística moderna. No se trata solo de una cuestión de recursos, sino también de falta de conocimiento, de barreras de entrada percibidas y en otras ocasiones de temor al cambio. Superar estas limitaciones requiere un enfoque estratégico, apoyado en soluciones progresivas y análisis económico riguroso.

Este proyecto parte de esa realidad, el reto no es solo entender cómo funciona un almacén automatizado, sino cómo esa automatización puede ser viable, escalable y útil para empresas que no disponen de los medios de Amazon, pero sí de la necesidad de ser competitivas.



1.3 Objetivos del proyecto

La transformación logística actual se apoya en dos grandes pilares, por un lado, el conocimiento técnico y operativo acumulado durante décadas en el diseño y gestión de almacenes tradicionales, y por otro lado, la incorporación progresiva de tecnologías que permiten automatizar procesos, optimizar flujos y aumentar la eficiencia general del sistema logístico. Para entender esta evolución de los centros logísticos no basta solo con controlar y observar la aparición de nuevas herramientas tecnológicas, sino también comprender cómo los principios clásicos de diseño siguen siendo la base por la cual se apoya cualquier mejora posterior.

Este trabajo tiene como finalidad analizar en profundidad el diseño funcional de los almacenes desde sus fundamentos más clásicos hasta su adaptación a entornos automatizados, con un enfoque que combina el estudio técnico con la evaluación económica y estratégica. La automatización no puede abordarse como un fenómeno puramente tecnológico, exige un conocimiento claro de los procesos originales que pretende optimizar y de las limitaciones específicas que estos presentan. Por eso, uno de los ejes centrales del proyecto será el análisis detallado del almacén convencional: su distribución física, los flujos operativos, los sistemas de almacenamiento y la gestión del inventario. Este estudio no solo servirá para comprender cómo funcionan estos espacios, sino también para identificar cuellos de botella, redundancias y oportunidades de mejora.

En paralelo, el proyecto se adentrará en el estudio de la automatización aplicada a centros logísticos, abordando tanto las tecnologías más consolidadas como aquellas en expansión. Se analizarán sistemas de almacenamiento y recuperación automáticos, robots móviles autónomos, software de gestión de almacenes y plataformas integradas de planificación. Se valorarán sus prestaciones, sus requerimientos técnicos, los niveles de inversión que implican y su compatibilidad con entornos existentes. Más allá de la descripción técnica, se buscará entender cuál es el verdadero impacto operativo de estas soluciones, qué indicadores mejora y qué condiciones deben cumplirse para que realmente aporten valor.

Con el objetivo de conectar estos dos mundos, el tradicional y el automatizado, se estudiará el caso de éxito de Amazon, probablemente la empresa que ha llevado la automatización logística más lejos. A través del análisis de sus tecnologías más representativas, como Sequoia, Titan o Sparrow, se evaluarán aspectos clave como



la eficiencia del picking, la trazabilidad en tiempo real, la utilización del espacio y la capacidad de adaptación ante cambios bruscos en la demanda. El análisis de Amazon no pretende establecer un modelo replicable, pretende más bien servir como referencia para identificar principios operativos y decisiones estratégicas que puedan inspirar soluciones adaptadas a otros contextos menos sofisticados como es el caso de las pequeñas y medianas empresas.

El cuarto eje del trabajo se centrará en la automatización de las pequeñas y medianas empresas. Para ello, se creará un modelo de madurez logístico para la automatización por el cual se podrá clasificar cada empresa en un nivel de automatización en función de unos parámetros determinados. Se explicará cómo se ha definido esos niveles y se describirán las implicaciones que tiene cada uno en cuanto a tecnología y rendimiento esperado. También se hará una planificación de costes para determinar el rango de precios que costaría implementar las tecnologías necesarias para el nivel de automatización en cuestión.

1.4 Alcance y limitaciones del estudio

Este Trabajo de Fin de Grado se plantea como un análisis técnico y estratégico del diseño y evolución de los almacenes logísticos. Esta centrado en su transición desde modelos tradicionales hacia soluciones automatizadas. El enfoque no es puramente descriptivo, sino también evaluativo, se pretende comprender qué elementos definen el funcionamiento de un almacén clásico, cómo evolucionan al incorporar tecnologías automatizadas y en qué medida estas transformaciones pueden replicarse, con los cambios necesarios, a empresas de menor escala.

El estudio abarca desde los principios fundamentales del diseño físico y operativo de almacenes convencionales hasta el análisis de tecnologías de automatización actualmente disponibles en el mercado. Se prestará especial atención a los procesos internos, a los flujos de materiales, a los indicadores de rendimiento (como la tasa de errores, los tiempos de ciclo o la utilización del espacio) y a las condiciones que determinan la eficiencia global del sistema logístico. No se limitará, por tanto, a describir componentes aislados, sino que se buscará entender el almacén como un sistema integrado, en el que cada decisión repercute sobre el conjunto de operaciones.



Dentro del ámbito tecnológico, el proyecto se centrará en tecnologías ya aplicadas en la industria y que disponen de documentación técnica suficiente como para ser evaluadas con el rigor necesario. Esto incluye robots móviles autónomos, sistemas de almacenamiento y recuperación automáticos, soluciones de picking asistido y software especializado de gestión logística. En ningún caso se entrará a valorar tecnologías en fase experimental, prototipos no comercializados o soluciones cuyo uso real sea meramente anecdótico.

Uno de los puntos clave del alcance del trabajo es su enfoque bidireccional. Por un lado, se abordará el estudio de casos de automatización avanzada en grandes corporaciones, con especial énfasis en Amazon como caso de éxito. Por otro lado, se buscará crear un modelo de madurez de automatización logística por la cual se podrá clasificar a las empresas según el grado de automatización de sus centros logísticos basados en una serie de KPIs y métricas fácilmente calculables que se expondrán en el proyecto.

En cuanto a las limitaciones, es necesario reconocer que el estudio no incluye trabajo de campo directo, como entrevistas a empresas o visitas a centros logísticos, debido a las restricciones propias del alcance académico y temporal del proyecto. La información se basará, por tanto, en fuentes secundarias contrastadas como publicaciones científicas, documentación técnica y artículos de medios especializados. Esto implica que, si bien se buscará un alto nivel de fiabilidad, no se podrá ofrecer un reporte físicamente comprobado en condiciones reales de aplicación. Además, el análisis económico que se desarrolle estará basado en estimaciones y simulaciones, no en datos confidenciales de proyectos específicos, por lo que sus resultados deberán interpretarse como orientativos y no como cálculos exactos.

Otra limitación a tener en cuenta es que el foco del trabajo está claramente orientado al ámbito logístico de almacenamiento, es decir, sin incluir en detalle procesos de transporte, distribución o última milla. Aunque estas áreas están obviamente conectadas, su complejidad justificaría la elaboración de un estudio independiente. Aquí, la atención se concentrará en el núcleo del almacén. Siendo este la recepción, el almacenamiento, la preparación de pedidos y la expedición.

En definitiva, este estudio aspira a ser una herramienta útil tanto desde el punto de vista académico como para su posible aplicación práctica. No pretende sustituir a una consultoría especializada, pero sí ofrecer una base sólida para la reflexión,



la evaluación crítica y la toma de decisiones informadas en torno al diseño y la automatización de operaciones logísticas.

1.5 Metodología empleada

La metodología empleada en este trabajo se ha diseñado para abordar de forma estructurada el análisis del diseño y la automatización de centros logísticos, combinando la revisión técnica con una aproximación crítica y comparativa. Dado que el objetivo principal es estudiar la transición entre modelos tradicionales y automatizados, se ha optado por una estrategia basada principalmente en el análisis documental y el contraste de casos reales.

El punto de partida ha sido una revisión bibliográfica amplia, que incluye tanto publicaciones académicas como documentación técnica de empresas del sector logístico. Esta fase ha permitido recopilar información sobre los principios que rigen el funcionamiento de los almacenes convencionales, así como sobre las tecnologías actualmente disponibles para su automatización. Se ha prestado atención a fuentes variadas, incluyendo manuales especializados, informes sectoriales y estudios de caso divulgados por empresas como Amazon o Mecalux, con el fin de construir una base sólida y representativa.

A partir de esta base documental, se ha realizado un análisis comparativo orientado a identificar las principales diferencias funcionales entre los modelos clásicos de almacenamiento y aquellos que incorporan automatización. Este análisis no ha sido exhaustivo ni pretende cuantificar de forma precisa los resultados, sino más bien establecer una visión general de los cambios que introducen las tecnologías en el flujo de trabajo, la organización del espacio y la eficiencia operativa.

Además, se ha creado un modelo de maduración logística en la que se clasifican las empresas por su grado de automatización, para la creación de esta tabla, se tomarán las métricas estudiadas durante el proyecto y se establecerán los rangos pertinentes.

Además, se ha contemplado la evaluación general de la viabilidad económica de estas soluciones en el contexto de pequeñas y medianas empresas. Esta parte no incluye cálculos detallados ni simulaciones formales, pero sí una aproximación razonada basada en referencias sectoriales y experiencias documentadas. El



propósito es proporcionar un marco de reflexión que ayude a entender en qué condiciones podría tener sentido automatizar, y cuáles son los factores clave que influyen en esta decisión, tanto desde el punto de vista técnico como organizativo.

Es por todo esto, que la metodología adoptada permite explorar el fenómeno de la automatización logística desde una perspectiva práctica, sin perder el enfoque en lo académico. Aunque no se ha planteado una validación experimental sobre el terreno, el uso de las diversas y contrastadas fuentes asegura una aproximación sólida a los objetivos del proyecto.



Capítulo 2 Fundamentos del Almacén Clásico

2.1 Principios de diseño del almacén tradicional

Antes de abordar cualquier transformación tecnológica en un entorno logístico, resulta imprescindible entender cómo se estructura, organiza y opera un almacén bajo un modelo tradicional. Los principios que guían el diseño físico y funcional de estos espacios no solo han permitido durante décadas el funcionamiento eficiente de miles de empresas, sino que siguen estando en la base de muchas decisiones actuales, incluso en almacenes parcialmente automatizados. Ignorar estos fundamentos equivaldría a perder de vista el origen de los flujos logísticos, la lógica de los recorridos y la racionalidad detrás del uso del espacio y los recursos.

Este apartado recoge los elementos clave que configuran el diseño de un almacén convencional. Desde los principios generales que guían su planificación, hasta las decisiones sobre zonificación, tipología, ubicación de mercancías y sistemas de almacenaje y manipulación. Todo este bloque servirá como base para, más adelante, poder entender qué aspectos son susceptibles de automatización y cuáles representan cuellos de botella en los modelos actuales.

2.1.1 Principios fundamentales del diseño

El diseño de un almacén tradicional parte de una primera premisa: debe permitir que los flujos de mercancías se desarrollen con la mayor eficiencia posible, manteniendo un equilibrio entre coste operativo, capacidad de respuesta y seguridad. Aunque las soluciones tecnológicas actuales hayan introducido nuevas posibilidades, los principios que sustentan la lógica del almacén clásico siguen siendo plenamente aplicables. Estos principios no responden a una única corriente teórica, sino que son fruto de la evolución de la práctica industrial, de la experiencia acumulada en sectores muy diversos y de una necesidad permanente de optimizar recursos en entornos cada vez más exigentes.



Uno de los primeros fundamentos a tener en cuenta es la coordinación funcional del almacén con el resto de las áreas de la empresa. Lejos de ser una unidad autónoma o aislada, el almacén actúa como nodo entre operaciones críticas como el aprovisionamiento, la producción y la distribución. Su diseño debe permitir la sincronización con estas funciones, facilitando la entrada y salida de mercancías sin generar cuellos de botella. Esta visión integral forma parte de lo que se conoce como logística interna o logística integral, y ha sido ampliamente desarrollada en el ámbito técnico desde los años noventa, especialmente a raíz del auge del modelo just-in-time en sectores como la automoción (Hidalgo Casati, 2007).

A nivel físico, otro principio esencial es la optimización del espacio disponible o layout, tanto en superficie como en volumen. Un almacén mal diseñado no solo desaprovecha metros cuadrados, sino que incrementa los tiempos de manipulación, aumenta los recorridos del personal y favorece la aparición de errores. La ubicación de cada zona (recepción, almacenamiento, picking, expedición) debe planificarse con criterios que pongan el foco en la minimización de desplazamientos y en la accesibilidad. Según Mecalux, una correcta distribución del layout puede mejorar sustancialmente el rendimiento operativo global, simplemente reduciendo recorridos y facilitando accesos (Mecalux, 2023).

Otro principio fundamental es el de minimización, que está muy vinculado al anterior, pero va más allá del espacio. Se refiere también a la reducción de manipulaciones innecesarias, al diseño de rutas lógicas dentro del almacén y a la simplificación de procesos. En la práctica, muchas operaciones logísticas presentan lo que se conoce como actividades sin valor añadido como pueden ser los desplazamientos vacíos, las reubicaciones innecesarias o las manipulaciones redundantes. El objetivo del diseño debe ser eliminar al máximo estas operaciones para centrarse en aquellas que realmente contribuyen a la eficiencia del sistema. Tal como señala Hidalgo Casati, simplificar recorridos y reducir manipulaciones es uno de los pilares para recortar costes operativos en entornos no automatizados (Hidalgo Casati, 2007).

Junto a estos factores físicos y funcionales, aparece el principio de flexibilidad, cada vez más relevante en un contexto de demanda cambiante y creciente personalización del servicio. Un almacén rígido, diseñado para una única tipología de producto o una operativa específica, se vuelve obsoleto en cuanto las condiciones del mercado cambian. Por eso, la modularidad, la escalabilidad y la



previsión de crecimiento deben formar parte del planteamiento inicial. Diseñar pensando en el futuro es una práctica habitual en grandes instalaciones, pero también empieza a formar parte de los criterios de diseño en instalaciones medianas y pequeñas, donde la capacidad de adaptación puede marcar la diferencia entre mantenerse competitivo o no.

La seguridad, tanto de las personas como de las mercancías, constituye otro principio esencial que debe guiar el diseño desde la fase inicial. Esto implica prever rutas de evacuación, zonas de paso suficientemente amplias, señalización clara y adecuada iluminación, pero también ergonomía en los puestos de trabajo. En almacenes tradicionales, donde la manipulación manual sigue siendo predominante, las condiciones ergonómicas son determinantes para evitar lesiones por sobreesfuerzo, errores por fatiga o accidentes por mala visibilidad o diseño de pasillos. Además de proteger a los operarios, un diseño seguro permite reducir los daños sobre la mercancía y minimizar pérdidas por deterioro o caídas. La norma ISO 45001 y diversos estándares nacionales, como los desarrollados por el INSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo) en España, ofrecen pautas específicas en este sentido, aplicables tanto en entornos manuales como semi-automatizados.

Por último, un principio transversal a todo el diseño logístico es el de establecer un flujo lógico y continuo de materiales, desde la recepción hasta la expedición. Este flujo debe evitar cruces innecesarios, retrocesos o acumulaciones, y debe facilitar la trazabilidad física del producto en todo momento. Según Mecalux, un diseño bien alineado con el flujo operativo puede reducir significativamente los tiempos de preparación de pedidos, especialmente si se acompaña de una correcta asignación de ubicaciones y una lógica de rotación adecuada (Mecalux, 2023).

A pesar de que en un primer momento parezca que estos principios son independientes y mutuamente excluyentes, no es así, son complementarios y se refuerzan entre sí. Un almacén eficiente es aquel que sabe integrar estos principios de manera transversal y los implementa en todos los ámbitos y procesos de sus centros.

2.1.2 Tipología y clasificación de almacenes

Una de las decisiones más determinantes en el diseño y gestión de un almacén es entender con claridad qué función cumple dentro de la cadena logística y qué tipo de productos va a manejar. Esta clasificación condiciona directamente la disposición física del almacén, su layout, el sistema de almacenamiento y, en definitiva, la eficiencia de la operación. En función de su rol logístico y de las características de los artículos almacenados, los almacenes se pueden organizar de distintas maneras, cada una con sus implicaciones técnicas y operativas.

Desde el punto de vista funcional, es habitual distinguir entre varios tipos de almacenes en función de su posición dentro del flujo logístico. En primer lugar, los almacenes de fábrica son aquellos situados dentro o junto a las instalaciones de producción. Su función principal es absorber la producción generada hasta que se realiza su expedición o transformación posterior. No suelen requerir grandes superficies ni sistemas complejos, pero sí una alta sincronización con los ritmos de fabricación. Por ejemplo, en entornos industriales con fabricación en serie, estos almacenes actúan como pulmón temporal entre procesos encadenados.



Ilustración 7. Almacén de fábrica

En segundo lugar, están los almacenes reguladores, diseñados para actuar como centros de compensación entre la producción y la demanda. Se ubican fuera de la planta, pero cerca del nodo de consumo o distribución, y permiten amortiguar fluctuaciones, gestionar picos de actividad y optimizar el transporte en grandes volúmenes. Su diseño debe ser más flexible y con mayor capacidad de almacenaje

que el de fábrica. Este tipo de almacenes suele implicar una mayor complejidad en la gestión del inventario y una operativa más dinámica.

Otro tipo habitual es el almacén de delegación o de proximidad, destinado a cubrir zonas geográficas específicas. Estos almacenes tienen un papel más comercial o de servicio al cliente. Están pensados para acortar los tiempos de entrega y responder con agilidad a la demanda local. En este caso, el diseño debe priorizar el acceso rápido a las referencias más comunes y contar con una gestión del espacio optimizada para reducir al mínimo los tiempos de preparación y expedición de pedidos.

Finalmente, dentro de esta clasificación funcional, merece una mención específica la figura de las plataformas de tránsito, también conocidas como centros de cross docking. A diferencia de los anteriores, su finalidad no es almacenar productos durante largos periodos, su función es permitir su consolidación y redistribución casi inmediata. En estos centros, la mercancía entra y sale con muy poco tiempo de permanencia, lo que exige un diseño que minimice desplazamientos internos y priorice la eficiencia del flujo físico. Este tipo de instalaciones es común en sectores de distribución masiva y gran consumo (Hidalgo Casati, 2007).

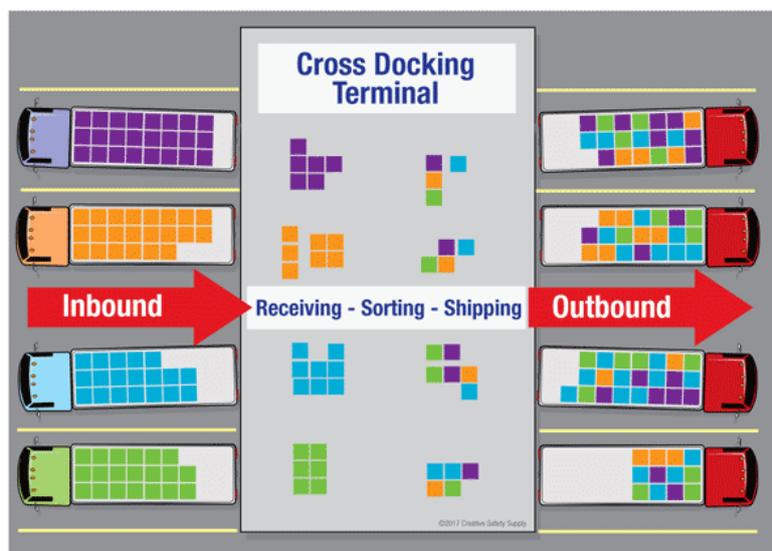


Ilustración 8. Centro de Cross Docking

Otra forma de clasificar los almacenes es según la naturaleza de los productos almacenados, ya que cada tipo de mercancía plantea requisitos distintos en términos de manipulación, control, infraestructura e incluso normativa. Esta tipología permite adaptar tanto el layout como los sistemas de almacenaje a las



particularidades del material gestionado, lo que influye directamente en la eficiencia y seguridad de la instalación (Raja Pack, 2024).

Los almacenes de materias primas están situados normalmente cerca de las naves de producción, y se utilizan para guardar materiales que aún no han sido transformados. Suelen requerir un control estricto de entradas, identificación clara de lotes y trazabilidad, sobre todo si los materiales son sensibles o deben cumplir requisitos normativos.

Por otro lado, los almacenes de productos intermedios o semielaborados almacenan artículos que han pasado por una o varias fases del proceso productivo pero que aún no están listos para su comercialización. Este tipo de instalaciones suele actuar como pulmón entre procesos industriales consecutivos, y deben garantizar una rotación adecuada para no comprometer la continuidad de la fabricación.

Los almacenes de productos terminados tienen como objetivo principal gestionar artículos ya listos para la venta o distribución. En estos casos, el diseño debe facilitar operaciones como el picking, el embalaje y la expedición. La eficiencia en estas tareas es crítica, especialmente en sectores donde los plazos de entrega son ajustados.

También existen los almacenes de repuestos y accesorios. Estos centros almacenan piezas destinadas a la reposición, reparación o mantenimiento de productos o instalaciones. Suelen manejar una gran variedad de referencias en pequeñas cantidades, esto exige una organización interna altamente selectiva y sistemas de localización muy eficientes.

Una categoría específica la constituyen los almacenes frigoríficos, estos almacenes están diseñados para conservar productos a temperaturas controladas. Son comunes en sectores como el alimentario y farmacéutico, y requieren materiales constructivos, estanterías y sistemas de control térmico especializados.



Ilustración 9. Almacén frigorífico

Por otro lado, los almacenes de productos químicos o médicos deben cumplir estrictas normativas de seguridad, almacenamiento separado por compatibilidad de sustancias, señalización específica y formación del personal en manipulación segura. En muchos casos, deben estar equipados con sistemas de ventilación, contención de derrames y protección contra incendios.

Finalmente, los almacenes de envases y embalajes albergan los materiales necesarios para acondicionar los productos antes de su expedición o para garantizar su integridad durante el transporte. Aunque muchas veces ocupan un espacio auxiliar, su gestión eficiente es clave para evitar interrupciones en el flujo logístico general.

Comprender la función que debe cumplir el almacén y la naturaleza de los artículos que va a manejar permite tomar decisiones técnicas más ajustadas desde un principio. Qué layout se adapta mejor, qué tipo de estanterías se necesitan, qué zonas son prioritarias, qué tipo de flujos se deben prever y, sobre todo, qué limitaciones físicas o normativas condicionan el proyecto son decisiones que permiten que la instalación cumpla su función de forma eficaz, económica y segura.



2.1.3 Zonificación interna y layout físico

El rendimiento operativo de un almacén depende de varios factores como son la tecnología empleada y la experiencia del personal. Sin embargo, el rendimiento está profundamente condicionado a su vez por la forma en que el espacio ha sido concebido y organizado desde el inicio. La zonificación interna y el diseño del layout no son cuestiones accesorias, sino decisiones estructurales que determinan la eficiencia, la seguridad, la escalabilidad y la capacidad de adaptación del sistema logístico. En almacenes tradicionales, en el que los recursos son limitados y la automatización todavía no ha sido implementada, una buena distribución del espacio puede marcar la diferencia entre una operación fluida y un entorno operativo plagado de cuellos de botella, errores y desplazamientos innecesarios.

La zonificación interna se define como la delimitación física y funcional de las distintas áreas que conforman un almacén. Esta segmentación responde a la lógica del flujo de mercancías, desde su entrada hasta su salida. De entre los objetivos destacan optimizar los recorridos, minimizar interferencias y facilitar la gestión del inventario. Aunque no existe un único modelo aplicable a todos los casos, sí se reconocen ciertas zonas comunes que, bien definidas, permiten un funcionamiento ordenado y coherente.

La zona de recepción, la cual incluye la zona de carga y descarga, es el primer punto de contacto entre la mercancía y el sistema logístico interno. Aquí se lleva a cabo la descarga, verificación documental, inspección de calidad y registro de productos. Su localización debe estar próxima a los muelles de entrada, con espacio suficiente para maniobras y control visual. Si esta zona no está correctamente dimensionada o ubicada, puede convertirse en un cuello de botella que ralentice toda la operativa.

La zona de almacenamiento es el núcleo del almacén. Aquí se ubican los productos en función de criterios como rotación, volumen, compatibilidad o fragilidad. El tipo de estanterías y el sistema de ubicación influyen de forma directa en la capacidad total del almacén, en la facilidad para localizar los artículos y en los tiempos de preparación. En almacenes tradicionales, donde la



intervención humana es constante, esta zona debe diseñarse teniendo en cuenta tanto el aprovechamiento del volumen como la accesibilidad ergonómica.

La siguiente área clave es la zona de preparación de pedidos, también conocida como zona de picking. Aquí es donde se produce uno de los procesos más críticos de la logística interna, la recogida selectiva de artículos para su agrupación y expedición. En muchas empresas, esta fase representa más del 50 % del coste operativo del almacén, debido a los desplazamientos, errores y manipulaciones necesarias. La ubicación de esta zona y la separación o integración con el área de almacenamiento debe estudiarse en función del tipo de pedido habitual, del número de referencias y del volumen medio de picking diario.

La zona de expedición cierra el flujo logístico dentro del almacén. Aquí se consolidan los pedidos ya preparados, se embalan, se documentan y se cargan en los vehículos de reparto. Esta área debe estar próxima a los muelles de salida, evitando cruces con la recepción. Se debe permitir además una operación fluida incluso en momentos de alta demanda. Si los envíos requieren control por parte de aduanas o validación externa, esta zona debe tener espacios diferenciados para ello.

Existen áreas auxiliares además de estas zonas principales anteriormente mencionadas que no participan directamente en el flujo de materiales, pero que son esenciales para el funcionamiento diario. Se incluyen aquí los espacios administrativos, de gestión documental, mantenimiento técnico, servicios al personal o almacenamiento de envases y embalajes. Aunque a menudo se les resta importancia, su correcta ubicación puede evitar interrupciones, duplicidad de tareas o desplazamientos innecesarios (JRM, 2023).

Determinar una buena distribución es esencial, y es que, Según Toyota Material Handling, una buena distribución y zonificación puede reducir significativamente los tiempos de carga y descarga, puede optimizar las operaciones de almacén y puede reducir los accidentes personales y daños a las cargas e instalaciones (Toyota Material Handling, 2024).



Ilustración 10. Ejemplo gráfico del layout de un almacén

Todo este conjunto de zonas debe integrarse bajo un layout físico coherente, es decir, una configuración espacial que respete la lógica del flujo y que esté optimizada para el tipo de operativa prevista. Los layouts más habituales en almacenes convencionales se agrupan principalmente en cuatro configuraciones: en forma de U, en línea recta (o tipo I), en forma de L y en forma de T. Cada una de las distribuciones cuenta con ventajas operativas específicas en función del tipo de actividad, del volumen de movimiento y de la superficie disponible.

El layout en U es probablemente el más común en instalaciones tradicionales, especialmente en almacenes de tamaño medio. En esta configuración, la entrada y salida de mercancías se sitúan en el mismo lado del edificio, y el flujo de materiales describe una especie de herradura. Esta disposición permite que los muelles de carga y descarga estén próximos entre sí. Esto facilita el control del acceso, reduce las necesidades de vigilancia y centraliza las operaciones de expedición y recepción. Este layout minimiza el recorrido entre las áreas de entrada, almacenamiento y preparación de pedidos, convirtiéndolo en una solución eficiente para flujos logísticos relativamente simples y de volumen moderado. Sin embargo, si no se gestiona bien la separación de espacios, puede generar interferencias entre mercancías entrantes y salientes.

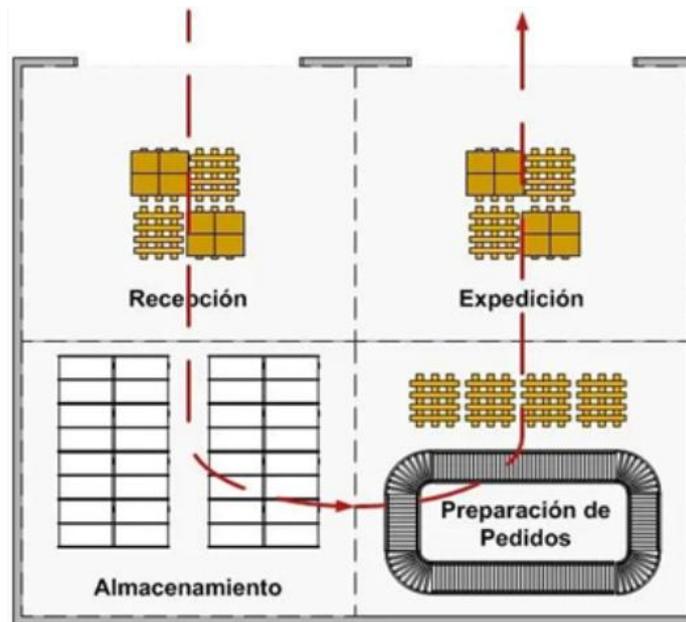


Ilustración 11. Layout en U

El layout en línea recta (o tipo I) establece un flujo completamente secuencial. La recepción se sitúa en un extremo, la zona de almacenamiento en el centro, y la expedición en el extremo opuesto. Este diseño es especialmente eficaz en almacenes con flujos unidireccionales de alto volumen. También es eficaz donde el objetivo es evitar cualquier cruce de trayectorias. Es habitual en centros logísticos de gran escala, instalaciones cross-docking o plataformas donde se exige un alto rendimiento operativo con tiempos de paso muy ajustados. Como contrapartida, esta configuración requiere mayor superficie longitudinal y una coordinación precisa para que cada proceso se realice sin interrupciones.

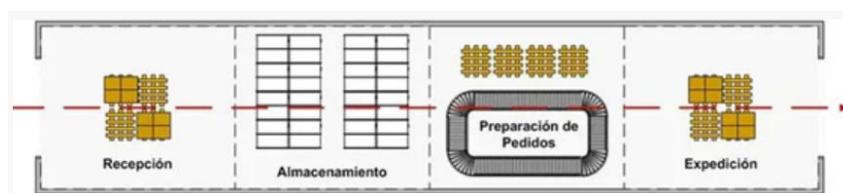
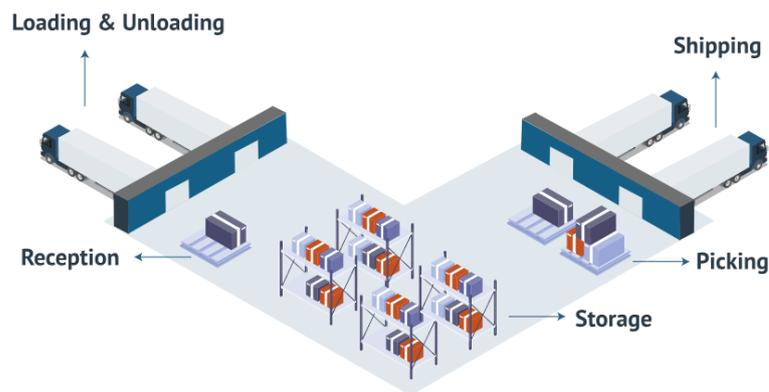


Ilustración 12. Layout en I

El layout en L es una solución intermedia, frecuentemente adoptada cuando las condiciones arquitectónicas del edificio no permiten un diseño lineal completo ni una herradura clásica. En este caso, los muelles de carga y descarga se disponen

en lados adyacentes del edificio, y el flujo describe un ángulo recto. Es útil en naves con planta rectangular o cuando se quiere separar físicamente las áreas de recepción y expedición, pero manteniendo un acceso común a las zonas centrales de almacenamiento y picking. Aunque es menos eficiente que el layout en línea recta desde el punto de vista de recorrido puro, ofrece más versatilidad en términos de acceso y reorganización de zonas.

Warehouse Design: L-Shaped



 Fit Small Business

Ilustración 13. Layout en L

También existen disposiciones más complejas, como el layout en T. Este layout es empleado a veces en centros de consolidación o distribución con múltiples puntos de entrada y salida. En este diseño, la parte central del almacén actúa como nodo desde el que se distribuyen flujos hacia distintas zonas operativas o áreas de expedición. Su implementación exige un sistema de gestión más avanzado y una logística bien definida, ya que los cruces y solapamientos son más difíciles de evitar sin herramientas tecnológicas de soporte (JRM, 2023).

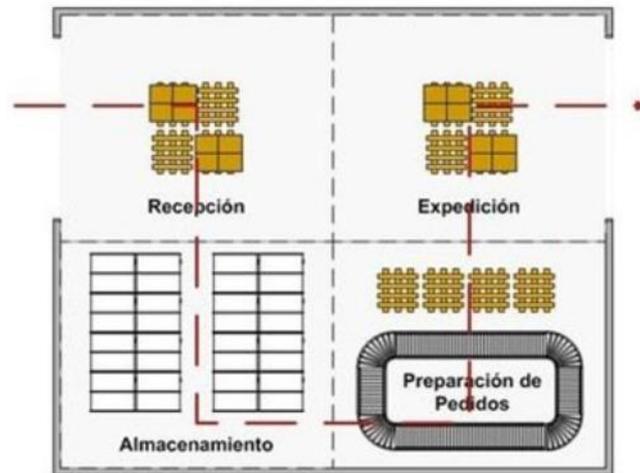


Ilustración 14. Layout en T

La elección de una configuración u otra debe estar altamente estudiada y razonada. Cada layout implica ventajas y limitaciones específicas, y debe evaluarse en función de factores como el tipo de mercancía, el número de referencias gestionadas, la intensidad del picking, el nivel de rotación del inventario, el espacio disponible y las condiciones futuras de crecimiento o automatización. Además, una mala elección puede tener consecuencias difíciles de corregir a posteriori ya que rediseñar un layout ya implantado es muy costoso.

2.1.4 Criterios de ubicación y rotación de productos

Uno de los factores que más influencia tiene en el rendimiento operativo de un almacén tradicional, y que se suele subestimar, es la forma en que se ubican los productos dentro del espacio disponible. Más allá del layout general, el criterio con el que se asigna una posición a cada referencia afecta directamente a los tiempos de preparación de pedidos, al número de errores, al uso del espacio y, en definitiva, al coste operativo por unidad gestionada. Un sistema logístico sin automatización o sin soporte digital depende especialmente de una lógica de ubicación clara, racional y establecida sobre criterios funcionales y no arbitrarios.

En el ámbito logístico clásico, los productos suelen agruparse en función de diversos parámetros operativos. Uno de los más relevantes es la frecuencia de uso o rotación. Las referencias que se mueven con mayor regularidad deben estar ubicadas en zonas de fácil acceso, próximas a los pasillos principales y con buena



visibilidad. Estas áreas se conocen habitualmente como zonas calientes, y su optimización permite reducir drásticamente los tiempos de desplazamiento del personal durante el picking. Por el contrario, las zonas frías están destinadas a productos de rotación baja o esporádica, que no requieren un acceso constante y pueden almacenarse en posiciones más alejadas o elevadas. Esta distinción es especialmente útil en almacenes donde la variedad de referencias es alta pero la demanda está muy concentrada en unos pocos artículos.

Además de la rotación, existen otros criterios como el peso, volumen, fragilidad o compatibilidad entre productos que también determinan la ubicación óptima. Los artículos pesados, por ejemplo, deben colocarse en niveles bajos para evitar sobreesfuerzos y riesgos de caída, mientras que los productos frágiles requieren zonas estables, sin tráfico denso, y preferiblemente alejadas de mercancías voluminosas o con riesgo de contaminación cruzada. Del mismo modo, la compatibilidad entre materiales, especialmente en sectores como alimentación, químicos o farmacéuticos, puede exigir separaciones físicas o ubicaciones específicas para cumplir con la normativa.

En lo que respecta a la rotación de productos, los dos modelos más extendidos en almacenes convencionales son el sistema FIFO (First In, First Out) y el LIFO (Last In, First Out). El método FIFO se basa en el principio de que los primeros productos en entrar deben ser también los primeros en salir. Es el más utilizado en sectores donde la caducidad o el deterioro progresivo son relevantes, como la alimentación, la cosmética o los materiales médicos. Este sistema obliga a diseñar pasillos y accesos que permitan una entrada por un extremo y salida por otro. Esto condiciona directamente la disposición de estanterías y la lógica del flujo interno.

Por su parte, el sistema LIFO es menos frecuente en almacenes de distribución, pero puede tener sentido en entornos industriales donde se almacenan materiales en ubicaciones fijas y donde la rotación no está sujeta a criterios de fecha. En estructuras como el almacenamiento en bloque o en estanterías compactas, el último producto en entrar es el primero en salir, lo que simplifica el acceso, pero dificulta el control sobre la antigüedad del stock (Jaime Mira Galiana, 2024).

Otro modelo que ha ganado protagonismo en contextos especializados es el FEFO (First Expired, First Out), una variante del FIFO que prioriza la salida de los productos cuya fecha de caducidad es más cercana. Aunque requiere un mayor nivel de control documental o digital, este sistema es imprescindible en logística



farmacéutica, hospitales o distribución de bienes perecederos con vida útil desigual.

Uno de los enfoques más utilizados en la organización de productos dentro del almacén es la clasificación ABC. Es una herramienta sencilla pero muy eficaz para priorizar recursos y reducir los recorridos. Esta técnica se basa en el principio de Pareto, que establece que, en la mayoría de los casos, una pequeña parte de las referencias representa la mayor parte del movimiento o valor del inventario. Concretamente, la categoría A agrupa aquellos productos que suponen aproximadamente el 20 % de las referencias, pero generan el 80 % del volumen de pedidos o del valor gestionado. Los productos B ocupan una posición intermedia, pero con un impacto residual en la actividad logística (Ar racking, 2025).

Aplicar esta lógica al diseño de ubicaciones permite priorizar las zonas de acceso rápido para los productos A, ubicando los B en posiciones intermedias y reservando las zonas periféricas y elevadas para los C. Esta estrategia reduce el tiempo total de picking, mejorando la ergonomía del personal y facilitando la planificación de reabastecimientos. Además, permite una gestión más fina del inventario ya que los productos A requieren un control más riguroso y conteos más frecuentes, mientras que los C pueden gestionarse con mayor flexibilidad.

Es por todo esto que el criterio con el que se decide dónde colocar cada producto dentro de un almacén no es un detalle operativo menor, sino una de las decisiones estructurales más relevantes de todo el sistema logístico. Alinear esa decisión con datos, observar su impacto y revisarla con frecuencia es lo que diferencia a un almacén funcional de uno que apenas sobrevive a base de esfuerzos mal dirigidos.

2.1.5 Sistemas de almacenaje y manipulación convencionales

La estructura física de un almacén clásico además de estar determinada por el layout y el diseño de flujos, está determinada por elementos concretos que componen su infraestructura de almacenaje y los medios de manipulación que permiten mover la mercancía. Estos sistemas no solo condicionan la operativa diaria, sino que tienen un impacto directo sobre la capacidad, la seguridad, la agilidad de los procesos y la posibilidad de evolución futura del almacén. Aunque

el avance tecnológico ha ampliado las opciones disponibles, la mayoría de instalaciones tradicionales siguen empleando soluciones convencionales que, bien gestionadas, ofrecen niveles de rendimiento adecuados para muchas PYMES y entornos logísticos no automatizados.

Dentro del almacenaje estático, el sistema más común es el de estanterías convencionales selectivas, también conocidas como racks. Estas estructuras permiten almacenar productos paletizados de forma organizada, manteniendo un acceso directo a cada unidad de carga. Son muy utilizadas por su versatilidad, bajo coste y facilidad de instalación, especialmente en almacenes con un alto número de referencias y rotación media o alta. Su principal limitación reside en el aprovechamiento del espacio, ya que requieren un pasillo por cada fila de estanterías, lo que reduce la densidad total del almacenamiento (Ar racking 2024).

Cuando lo que se busca es mayor densidad de almacenaje, se utilizan las estanterías compactas, como los sistemas drive-in o drive-through. En estas configuraciones, las carretillas acceden al interior de los pasillos formados por los niveles de carga, lo que permite eliminar pasillos intermedios y ganar capacidad por metro cúbico. Esta ganancia se obtiene a costa de perder acceso directo a todas las unidades, lo que las hace más adecuadas para productos homogéneos y con poca rotación.



Ilustración 15. Estantería compacta drive-in

Las estanterías dinámicas, conocidas también como sistemas por gravedad, usan rodillos que permiten el movimiento controlado de las unidades de carga desde el

punto de entrada hasta el de salida. Pueden configurarse para operar bajo lógica FIFO o LIFO. Estas estanterías están indicadas para productos de alta rotación, ya que reducen tiempos de reposición y preparación. Estas soluciones requieren una inversión inicial más alta y un mantenimiento más técnico, pero ofrecen una mejora significativa en la productividad del picking (Mecalux, 2019).



Ilustración 16. Estantería dinámica

Los sistemas de estanterías móviles están montados sobre raíles lo que permite compactar el almacenamiento eliminando pasillos fijos. Solo se abre un pasillo cuando se necesita acceder a una determinada carga, esto permite aprovechar mejor la superficie disponible. Son especialmente útiles en almacenes donde el espacio es limitado y no hay una rotación muy alta. Sin embargo, al tratarse de un sistema secuencial, puede ralentizar la operativa si varios operarios necesitan acceder a diferentes zonas al mismo tiempo.

Por último, el almacenaje en bloque consiste en apilar palets directamente en el suelo sin estructura fija, es una opción muy extendida en almacenes de bajo coste o en sectores con productos de grandes dimensiones o muy homogéneos. Esta solución permite una altísima densidad, pero reduce la accesibilidad y exige una planificación cuidadosa para evitar reubicaciones frecuentes.

En cuanto a los medios de manipulación, el más habitual en entornos tradicionales es la transpaleta manual, que permite mover cargas paletizadas en distancias cortas. Su uso está muy extendido por su simplicidad, bajo coste y facilidad de uso. En versiones eléctricas, mejora notablemente la ergonomía del operario y permite trabajar en turnos prolongados con menor fatiga. Para elevar las cargas, se emplean carretillas elevadoras, que pueden ser contrapesadas, retráctiles o trilaterales según el espacio disponible y la altura de trabajo. Las carretillas

retráctiles son muy utilizadas en pasillos estrechos, mientras que las trilaterales están diseñadas para trabajar a gran altura, aunque su coste y complejidad de operación son mayores.



Ilustración 17. Transpaleta manual

Otro medio de manipulación son los apiladores eléctricos. Estos representan una solución intermedia entre la transpaleta y la carretilla. Permiten elevar cargas a una altura moderada, pero no requieren licencia específica en la mayoría de los casos, lo que facilita su uso en entornos con baja rotación o donde no se justifica la inversión en maquinaria más compleja (Sergi Bardera, 2021).

Por último, existen soluciones que son rudimentarias pero que aún se usan, como los carros de picking manual o los elevadores hidráulicos de baja capacidad. A pesar de que no ofrecen una eficiencia comparable a los sistemas mecanizados, su uso está justificado por las condiciones económicas o las características del producto.

En definitiva, los sistemas de almacenaje y manipulación convencionales siguen siendo la columna vertebral de la mayoría de los almacenes tradicionales. Comprender sus posibilidades y limitaciones no solo permite optimizar los recursos actuales, sino que establece la base sobre la que se pueden introducir mejoras progresivas o procesos de automatización en fases posteriores. Como en otros aspectos de la logística, no se trata de aplicar la solución más avanzada, sino la más adecuada al contexto real de cada empresa.

2.1.6 Limitaciones estructurales del modelo tradicional

A pesar de su solidez histórica y su amplia implantación, el modelo de almacén tradicional presenta una serie de limitaciones estructurales los cuales dificultan su capacidad para responder con agilidad y eficiencia a los desafíos actuales del entorno logístico. Estas limitaciones no se deben a errores de gestión puntuales ni a una mala implementación de los procesos, se deben a restricciones inherentes al propio diseño físico, operativo y organizativo de estas instalaciones. Reconocerlas de forma crítica es el primer paso para plantear una evolución del modelo o, al menos, para identificar qué aspectos requieren una revisión profunda antes de iniciar cualquier intento de modernización.

Una de las limitaciones más evidentes es la dependencia casi total del factor humano en todos los procesos. Desde la recepción y el almacenamiento hasta la preparación de pedidos y el control de inventario, la mayoría de las operaciones se realizan manualmente o con una mecanización mínima. Esta estructura conlleva una elevada carga física para los trabajadores, una exposición constante al error humano y una dependencia crítica de la formación, experiencia y disponibilidad del personal. En situaciones de alta rotación laboral, picos de demanda o ausencias inesperadas, este modelo tiende a colapsar o, como mínimo, a perder eficiencia. Además, tareas repetitivas y exigentes físicamente aumentan el riesgo de lesiones, baja productividad por fatiga acumulada y una tasa de error superior en actividades clave como el picking o el inventariado.

Otro punto crítico es la rigidez del layout físico y de los flujos internos. Muchos almacenes convencionales fueron diseñados para una tipología de producto concreta, con una lógica de movimientos que no siempre se adapta bien a cambios a una variación en los volúmenes de rotación o a una presión creciente por acortar los tiempos de respuesta. Esto se traduce en recorridos ineficientes y zonas saturadas o infrautilizadas. A diferencia de los modelos más recientes, donde el layout se diseña con flexibilidad desde el inicio, los almacenes tradicionales tienden a reproducir esquemas fijos que, con el tiempo, se vuelven ineficaces.

La falta de trazabilidad en tiempo real es también una limitación que cabe resaltar. La gestión y actualización del estado del inventario y de los movimientos históricos se vuelve complicada si no se usa un sistema integrado que permita conocer la ubicación de cada producto en cada momento. Esto complica el control de stock, incrementa el riesgo de sobrestock, y limita la capacidad para generar informes útiles para la toma de decisiones. Como apunta PulpoWMS, esta falta



de información es uno de los principales factores que impide a los almacenes tradicionales mejorar su rendimiento o adaptarse a exigencias más dinámicas del mercado (Pulpo WMS, 2023).

Otra limitación física frecuente son las infraestructuras que están poco preparadas para absorber picos de demanda. En modelos convencionales, aumentar la capacidad operativa no suele ser cuestión de escalar sistemas, sino de incorporar más personal o reorganizar espacios de forma manual. Esta solución, además de ser costosa y poco eficiente, es difícilmente sostenible a medio plazo. Frente a la demanda de una logística más ágil, flexible y centrada en el cliente final, los almacenes tradicionales presentan una respuesta limitada y muchas veces inestable.

Por último, existe una barrera tecnológica estructural que dificulta el paso a la automatización. Muchos almacenes tradicionales no fueron concebidos con la digitalización en mente. Sus layouts, procesos o sistemas de codificación no están preparados para integrar soluciones como AMR, sensores, etiquetado RFID o software de gestión avanzada sin una reestructuración previa. Esta realidad obliga a plantear una inversión en tecnología, además de una reconversión del modelo logístico base, lo cual no siempre es viable sin interrumpir operaciones o sin asumir un riesgo elevado.

En conclusión, el almacén tradicional, aunque aún funcional en muchos contextos, presenta limitaciones estructurales que condicionan seriamente su capacidad para competir en un entorno logístico que exige agilidad, precisión y trazabilidad. Es importante que, con el objetivo de asegurar la continuidad operativa de estos almacenes, se evalúe de manera crítica que aspectos se pueden mantener, cuales deben optimizarse y en cuales es necesario plantear una transformación más profunda.

2.2 Procesos logísticos en almacenes clásicos

La eficiencia de un almacén no depende únicamente de cómo está diseñado físicamente, sino de cómo se ejecutan sus procesos logísticos en el día a día. La correcta coordinación de tareas como la recepción, el almacenamiento, el picking o el control de inventario resulta un factor clave especialmente en un entorno



convencional, sin apenas automatización, para mantener un cierto ritmo operativo y evitar errores que comprometan el servicio. Esta sección ofrece una visión panorámica de los principales procesos que tienen lugar en este tipo de instalaciones, entendidos como un flujo continuo más que como fases independientes.

2.2.1 Visión general de los procesos logísticos tradicionales

El punto de partida de los procesos logísticos es la recepción de mercancías. Este proceso abarca desde la descarga hasta la verificación física y documental de los productos recibidos. En almacenes convencionales, esta fase suele gestionarse con albaranes impresos, sin herramientas digitales de control, lo que implica una fuerte dependencia del criterio de los operarios. La falta de trazabilidad en tiempo real genera riesgos de error que se arrastran al resto de la cadena logística. Una recepción ineficiente puede derivar en ubicaciones erróneas, productos sin registrar o discrepancias de inventario que no se detectan hasta que impactan en la preparación de pedidos (Ofisis, 2024).

Tras la recepción, la mercancía es trasladada a su ubicación de almacenamiento. Aquí entra en juego el almacenaje físico, que se organiza en función del layout, del tipo de estantería y de la lógica interna del almacén. En modelos clásicos, lo habitual es trabajar con ubicaciones fijas o con sistemas semi-caudales sin control informatizado. Esto supone recorridos más largos, zonas saturadas y espacios desaprovechados, especialmente si no existe una estrategia de clasificación basada en rotación o volumen. Además, la falta de integración entre recepción y almacenaje provoca muchas veces duplicidades, errores de colocación o bloqueos de pasillos por acumulación de mercancía no ubicada.

Uno de los procesos más críticos en términos operativos es la preparación de pedidos, también conocida como picking. En almacenes tradicionales, este proceso se realiza normalmente con listas impresas, rutas definidas de forma manual y sin validaciones automáticas. El picking discreto, en el que un operario recoge un pedido completo, es el método más extendido, aunque en algunos casos se emplean variantes por zonas o por lotes. Sea cual sea el enfoque, la ausencia de herramientas digitales para optimizar recorridos o verificar unidades recogidas



implica un alto riesgo de error y un consumo de tiempo muy elevado. Según datos de Juan Cisneros, el 50% del tiempo de preparación del pedido se emplea en desplazamientos (Juan Cisneros, 2025).

Una vez completado el picking, los productos pasan al área de embalaje y expedición, donde se consolidan, embalan y preparan para su envío. En los modelos convencionales, esta fase también carece de estandarización. Se utilizan materiales dispares, formatos de etiquetado manuales y sistemas de control poco consistentes. El resultado son pedidos mal protegidos, con riesgo de errores en la documentación o de entregas incompletas. Además, la falta de coordinación con los horarios de salida del transporte genera picos de presión operativa que comprometen la calidad del servicio y la seguridad del personal en momentos críticos del día.

Por último, la gestión de inventario se realiza mediante conteos físicos periódicos o registros en hojas de cálculo independientes. Esta práctica, común pero limitada, impide tener una visión actualizada del stock en tiempo real. Las roturas de stock, las ubicaciones vacías o los productos obsoletos solo se detectan cuando generan un problema visible. En ausencia de un WMS, Warehouse Management System, las empresas pueden enfrentarse a problemas como depender de los operarios que manejan los procesos de memoria, mercancía fantasma, y dificultades para localizar productos (DataWare Soluciones, 2024).

En términos generales, los procedimientos logísticos en almacenes convencionales se fundamentan en una lógica secuencial y manual que, aunque puede mantener un volumen aceptable de operaciones, presenta claras restricciones cuando la demanda se incrementa, los productos se diversifican o los tiempos de respuesta se reducen. Su mayor virtud reside en la adaptabilidad humana. Su mayor limitación reside en la ausencia de trazabilidad y seguimiento. Estas propiedades, que en el pasado eran suficientes, representan hoy un obstáculo claro ante modelos más tecnológicos y ágiles. Es crucial entender esta estructura operativa para evaluar de manera crítica las potenciales mejoras que pueden implementarse mediante la automatización, tema que se tratará en los capítulos siguientes.



2.3 Indicadores clave de rendimiento en almacenes tradicionales

Medir el rendimiento de un almacén es imprescindible para entender su comportamiento operativo y detectar oportunidades de mejora. Aunque hacerlo en un entorno tradicional, donde no existen herramientas avanzadas de seguimiento en tiempo real, presenta unas dificultades que a priori no se reconocen. Aun así, existen ciertos indicadores estándar que, bien adaptados, permiten evaluar de forma razonable el estado del sistema logístico incluso en instalaciones no digitalizadas. Estos KPIs no solo reflejan cifras, permiten identificar patrones, justificar decisiones y anticipar problemas que, sin estas métricas, quedarían invisibles hasta que ya han impactado en la operación.

Uno de los primeros indicadores a considerar es el de rotación de producto, que refleja la frecuencia con la que se renueva el stock en un periodo determinado. Se calcula como:

$$\text{Rotación} = \frac{\text{Unidades Salidas}}{\text{Stock Medio}}$$

Este dato permite identificar productos con alta demanda, que justifican una ubicación prioritaria y niveles bajos de inventario, frente a otros que podrían estar generando sobrecostes por obsolescencia o por ocupar espacio innecesario. Una rotación elevada implica agilidad y control del capital inmovilizado, mientras que una rotación baja puede indicar problemas de planificación o exceso de aprovisionamiento. Para complementar esta visión, se aplica la clasificación ABC, que como ya se ha visto, agrupa las referencias según su impacto sobre el total de ventas o movimientos. Las categorías A (el 20 % de productos que generan el 80 % del valor) deben recibir un tratamiento más controlado, mientras que las categorías B y C pueden gestionarse con menor exigencia operativa.

Otro indicador especialmente útil en entornos manuales es el de riesgo de obsolescencia, que se basa en el tiempo transcurrido desde el último movimiento de una referencia. Muchos sistemas básicos permiten establecer alertas a partir de un umbral definido, por ejemplo 90 días sin salidas, lo cual permite prevenir deterioro, pérdidas o la ocupación innecesaria de buenas ubicaciones. De forma complementaria, se puede calcular la cobertura del stock, es decir, los días que la empresa podría operar con el inventario actual según el ritmo de salida observado:

$$\text{Cobertura} = \frac{\text{Stock actual}}{\text{Tasa de salidas por día}}$$



Este dato es fundamental para anticipar roturas de stock, optimizar el reaprovisionamiento y evitar tanto el exceso como la falta de producto.

Más allá del control de inventario, también es posible medir la eficiencia operativa interna, aunque con limitaciones. Uno de los indicadores clave es la productividad del picking, que evalúa cuántas unidades o cajas puede preparar un operario por hora. En almacenes tradicionales, este dato se calcula manualmente, pero sigue siendo útil para dimensionar recursos y ajustar la carga de trabajo. Lo mismo ocurre con la eficiencia en la recepción, que estima cuántas unidades o cajas son procesadas por hora o por metro cuadrado. En momentos de alta demanda o estacionalidad, este indicador permite saber si los recursos actuales son suficientes o si será necesario reforzar el personal. Otro indicador interesante es el rendimiento de los muelles de carga y descarga el cual se puede calcular mediante dos fórmulas:

$$\text{Uso horario} = \frac{\text{Horas de muelle utilizadas}}{\text{Horas disponibles}} \times 100$$

$$\text{Ocupación Física} = \frac{\text{Superficie utilizada}}{\text{Superficie disponible}}$$

Estos datos permiten detectar infrautilización o saturación de espacios críticos, y ayudan a planificar ventanas horarias con mayor eficiencia.

Otro KPI que se suele emplear es el porcentaje de ocupación del almacén, que indica cuántas ubicaciones están llenas sobre el total disponible. Se considera que, por encima del 85 %, el almacén pierde agilidad y aumenta el riesgo de errores por acumulación, lo que puede justificar una reconfiguración del layout o incluso la expansión del almacén.

Desde el punto de vista del servicio al cliente interno o externo, existen dos indicadores especialmente relevantes. El primero es el nivel de servicio, que mide el porcentaje de entregas realizadas completas, puntuales y sin errores:

$$\text{Nivel de servicio} = \frac{\text{Entregas correctas}}{\text{Total de entregas}} \times 100$$

Este KPI condensa el impacto de toda la cadena logística sobre el cliente final y es especialmente crítico en sectores con alta rotación, como el e-commerce. El segundo es el control de incidencias, que no responde a una fórmula cerrada, pero consiste en registrar el número y tipo de errores operativos (roturas, fallos de



picking, errores administrativos) y analizarlos como porcentaje sobre el total de operaciones. Esto permite priorizar mejoras donde más se necesita.

Ahora bien, aplicar todos estos indicadores en un entorno tradicional no está exento de dificultades. En la mayoría de los casos, no se cuenta con un sistema de gestión de almacén (SGA) que facilite la recogida automática de datos, lo que obliga a depender de registros manuales o hojas Excel. Esto puede provocar errores, falta de fiabilidad y escasa continuidad en el seguimiento. Además, la falta de cultura analítica hace que, incluso disponiendo de los datos, muchas empresas no interpreten correctamente su evolución, o no los vinculen a decisiones concretas. Aun así, incluso con estas limitaciones, muchos almacenes tradicionales consiguen mantener cierto control si aplican una lógica clara, definen métricas sencillas y las actualizan de forma disciplinada (Juan Cisneros, 2025).

2.4 Costes, implantación y decisiones económicas

Hay que tomar diversas decisiones a la hora de abrir un almacén. Aparte de decidir cómo operarlo o que procesos implementará, la primera decisión que hay que tomar es la de carácter económico: cuánto cuesta ponerlo en marcha, dónde ubicarlo, y si conviene construir de cero o conviene alquilar una nave ya existente. En este apartado se abordan esos factores económicos clave que rodean a la implantación de un almacén convencional en el contexto español actual, así como los costes asociados y las decisiones que una empresa debe valorar al respecto.

Uno de los factores que más condiciona la inversión inicial es el precio del metro cuadrado, tanto en compra como en alquiler. Según datos recientes, construir una nave industrial en España implica una inversión que puede situarse entre los 180 y 300 €/m² si la construcción es metálica y entre los 260 y 450 €/m² si la estructura es de hormigón. Si además se incluyen los trabajos de acondicionamiento interno, sistemas eléctricos, protección contra incendios o acabados funcionales, el coste puede superar los 600 €/m², especialmente en zonas con exigencias urbanísticas estrictas o suelos con poca disponibilidad (Celia Arroyo, 2025).

En cambio, si la empresa opta por adquirir una nave ya construida, el precio medio de venta en España ronda actualmente los 440 €/m², con variaciones importantes

según la ubicación. Siendo las Islas Baleares y las Islas Canarias las comunidades autónomas más caras saliendo el precio por metro cuadrado a 900 y 750 €/m² respectivamente. En la Comunidad de Madrid, los precios oscilan alrededor de los 700 €/m², lo que refleja la presión inmobiliaria y la alta demanda en zonas logísticas bien conectadas.

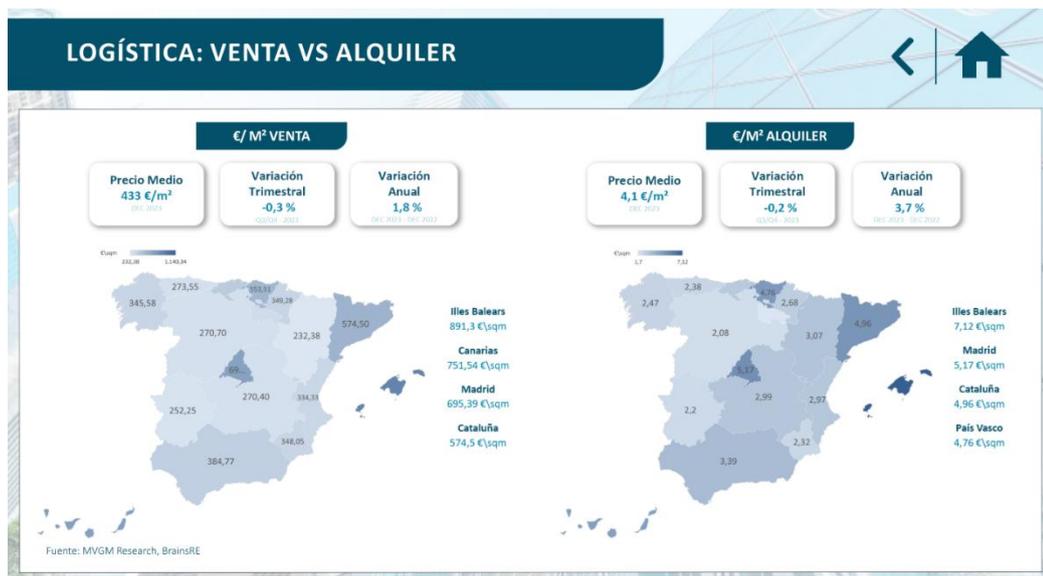


Ilustración 18. MVGM. Informe de mercado inmobiliario en Iberia Q4 2023

Por otra parte, alquilar una nave logística es una opción que muchas empresas consideran más viable, ya que reduce el desembolso del capital inicial y permite conservar liquidez para otros usos. La renta media del país se sitúa en los 4.1 €/m²/mes, con máximos en zonas como Madrid y Barcelona alcanzando los 5 €/m²/mes. Esta modalidad aporta además flexibilidad para adaptarse a cambios de demanda, aunque implica un compromiso recurrente que, en plazos largos, puede igualar o incluso superar el coste de adquisición. En todo caso, el alquiler resulta especialmente ventajoso para empresas en fase de crecimiento o con proyecciones operativas inciertas (MVGM, 2023).

Más allá del inmueble, existen otros elementos que suman costes relevantes en la implantación de un almacén tradicional. El equipamiento interior representa una de las inversiones más significativas. Las estanterías industriales, por ejemplo,



pueden alcanzar decenas de miles de euros, dependiendo del tipo de carga, la altura disponible o la densidad de almacenamiento deseada. También se deben contemplar carretillas elevadoras, transpaletas, sistemas informáticos y, en muchos casos, software de gestión de almacén, aunque sea en versiones básicas. A esto se suman costes de adecuación técnica, mobiliario de oficina, sistemas de iluminación, señalización, equipamiento contra incendios y suministros iniciales.

Pero incluso antes de operar, hay costes administrativos que no pueden pasarse por alto como licencias de obra, en los que se incluyen estudios geotécnicos del terreno y pueden costar entre 1000 y 3000 € el proyecto de obra que se encuentra entre los 2.500 y los 28000 € o la propia licencia de obra, que suele costar entre un 3% y un 5% del PEM (Presupuesto de Ejecución Material). También hay que tener en cuenta los seguros obligatorios y, si se construye, tasas municipales relacionadas con el permiso de edificación. Todos estos elementos forman parte del capital necesario para dejar el almacén en condiciones funcionales, y muchas veces son infraestimados en los presupuestos preliminares. La falta de previsión en esta fase puede poner en riesgo la viabilidad económica del proyecto (Celia Arroyo, 2025).

Además de la dimensión puramente financiera, la elección de la localización es otro elemento estratégico que ha de tenerse muy en cuenta. No se trata únicamente de encontrar suelo o inmuebles disponibles, sino de valorar la conectividad con vías principales, la cercanía a clientes o proveedores, la accesibilidad para los trabajadores, la existencia de transporte público, o incluso los costes logísticos derivados de operar desde una ubicación concreta. Situarse en un parque logístico consolidado garantiza servicios complementarios y una infraestructura optimizada, pero a menudo supone asumir precios más elevados por m². En cambio, desplazarse hacia zonas periféricas puede abaratar la inversión, pero obliga a asumir mayores costes de transporte o limitaciones en tiempos de entrega. Todo proyecto de implantación debe equilibrar estos elementos para minimizar el coste total de operación, no solo el coste inicial de establecimiento (CITYlogin, 2024).

En última instancia, el modelo tradicional de almacén ofrece una barrera de entrada más accesible que los sistemas automatizados, pero no por ello carece de exigencias económicas importantes. Incluso alquilando una nave en condiciones estándar, la inversión en equipamiento, permisos y preparación del espacio puede



situarse fácilmente en decenas o cientos de miles de euros, según la escala del proyecto. Para muchas pequeñas y medianas empresas, esto implica la necesidad de planificar cuidadosamente su expansión logística, evaluar el retorno de cada inversión y plantearse la opción de comenzar con soluciones modulares o escalables que permitan crecer sin comprometer la sostenibilidad financiera.



Capítulo 3. Automatización de los centros logísticos

3.1 Fundamentos y justificación de la automatización

Hablar hoy de automatización en logística no es anticiparse al futuro, sino describir una transformación que ya está en marcha. Lo que hace apenas unos años se asociaba a grandes centros de distribución con inversiones millonarias, empieza a convertirse en una realidad alcanzable, y en muchos casos, necesaria, para empresas de todo tipo. No se trata de una moda tecnológica. Es una respuesta directa a una serie de tensiones que el modelo tradicional de almacén no está siendo capaz de absorber.

La presión creciente en el comercio electrónico es uno de los principales motivos por los cuales la logística está sufriendo estas tensiones. La promesa de entregas en 24 horas ya no es diferencial, es el mínimo indispensable para miles de clientes. Y si no se llega a ese estándar, hay otros operadores dispuestos a hacerlo. Esta exigencia constante obliga a las empresas a reducir márgenes de error, anticipar la demanda y reaccionar con rapidez. Pero eso, en un almacén que sigue operando a base de rutinas manuales y hojas de cálculo, es sencillamente inviable. No es casualidad que muchas de las empresas que han automatizado parcialmente su operativa lo hayan hecho justo después de enfrentarse a picos de actividad que no supieron absorber.

Dicho esto, no solo existen razones externas, también hay razones internas de peso. La automatización permite estandarizar procesos que hasta ahora dependían demasiado de la experiencia individual de los trabajadores. Beetrack lo resume bien: cuando reduces la intervención humana directa, también reduces la variabilidad y los errores que conlleva. Y eso se nota, especialmente en procesos críticos como la preparación de pedidos, el control de inventario o la trazabilidad del stock (Beetrack, 2016).

Por otro lado, es importante mencionar la bajada de las barreras de entrada. Donde antes hacía falta un sistema a medida, ahora existen soluciones modulares, escalables, y con costes mucho más contenidos. Ya no hace falta automatizar todo

el proceso operativo de golpe. Muchas PYMEs están implementando soluciones por fases: incorporando un software de gestión más potente, automatizando solo la zona de picking, o implementando robots móviles para tareas repetitivas. No buscan convertirse en colosos como Amazon, sino dejar de depender de procesos que resultan obsoletos.

En definitiva, la automatización ha dejado de ser un “extra” reservado a quien puede permitírselo. Se está convirtiendo en un paso lógico para quien quiere seguir operando con garantías en un entorno que cada vez exige más y tolera menos margen de error. No se trata de automatizar porque sí, sino de identificar qué parte de la cadena empieza a fallar, y entender si hay una tecnología que pueda resolverlo sin comprometer la viabilidad del negocio.

3.2 Tecnologías de automatización aplicables a almacenes

3.2.1 Tecnologías físicas de automatización

El núcleo de la automatización física consiste en sustituir o complementar el trabajo manual con equipos que optimicen el movimiento, almacenamiento y manipulación de mercancías. Esto se traduce en una mayor precisión y rapidez, y se suele implementar de manera gradual y modular. A continuación se detallan algunos de las tecnologías más utilizadas.

Sistemas Automatizados de Almacenamiento y Recuperación (AS/RS)

Los AS/RS representan uno de los pilares más sólidos de esta evolución hacia la automatización. Se trata de infraestructuras diseñadas para almacenar y recuperar mercancías mediante mecanismos automatizados como grúas, lanzaderas o carruseles. Sobre estas estructuras, se montan estanterías optimizadas que permiten aprovechar el espacio de manera vertical y con mayor densidad de almacenamiento.



Ilustración 19. AS/RS

Element Logic destaca cómo los AS/RS mejoran la eficiencia del espacio y reducen los tiempos de ciclo al eliminar traslados manuales. La recuperación se realiza de manera precisa y rápida, disminuyendo errores y entregando la mercancía directamente al punto de procesamiento y preparación. Existen variantes adaptadas a distintos productos, desde contenedores individuales hasta pallets completos. Modelos como los carruseles horizontales o verticales (VLM) y las shuttles son especialmente útiles para aquellos almacenes que buscan una solución escalable, sin necesidad de instalar equipos en todo el centro desde el principio (Element Logic, 2024).

Robótica colaborativa y móvil (Cobots, AMR y AGV)

La robótica ha pasado de ser un elemento aislado a convertirse en un colaborador constante en entornos mixtos. Por un lado, están los cobots, diseñados para interactuar directamente con operarios. Equipados con sensores de proximidad y limitación de fuerza, permiten asistir en tareas repetitivas como despaletización, selección o empaquetado. Además, su flexibilidad hace que no sea necesario delimitar un área exclusiva, lo que reduce el impacto en la infraestructura preexistente.



Ilustración 20. Cobot despaletizador

En paralelo, los robots móviles autónomos (AMR) han ganado terreno por su capacidad de desplazarse libremente. Equipados con cámaras, láseres y algoritmos inteligentes, pueden navegar sin necesidad de seguir rutas fijas, adaptándose incluso a cambios en el layout. Según Establish, los AMR automatizan el transporte de inventario de forma eficiente, liberando a las personas de trayectos repetitivos y optimizando el flujo interno (Establishment, 2025).



Ilustración 21. AMR

En el espectro menos flexible y más estructurado están los vehículos guiados automáticamente (AGV). Estos se mueven siguiendo rutas predeterminadas, controlados por sensores o marcas en el suelo. Aunque ofrecen menos adaptabilidad que un AMR, pueden resultar más económicos en entornos estables con recorridos predecibles.



Ilustración 22. Robot AGV

Sistemas de transporte interno y clasificación

Más allá de los robots autónomos y los sistemas de almacenaje, uno de los elementos más relevantes, y muchas veces despreciado, es el conjunto de tecnologías que se encargan de mover la mercancía de forma continua entre las distintas zonas del almacén. Aquí entran en juego los transportadores automatizados, los clasificadores o “sorters” y otros sistemas de flujo interno.

Los transportadores permiten trasladar cajas, bandejas o pallets entre zonas sin intervención manual. En almacenes con niveles de actividad altos, estos sistemas no solo aceleran el ritmo de trabajo, sino que aportan estabilidad al flujo general. Son especialmente útiles cuando se integran con estaciones de picking, consolidación o expedición, donde es crítica la sincronización entre procesos.

Establish subraya que los transportadores, combinados con sorters automáticos, permiten gestionar grandes volúmenes de pedidos de forma precisa. Los sorters, por su parte, se encargan de redirigir cada unidad hacia su destino final, ya sea un muelle, una zona de empaquetado o una ruta específica, mediante brazos mecánicos, correas divergentes o rodillos motorizados (Establish, 2025). Este tipo de automatización es clave para operaciones con múltiples referencias o múltiples salidas de transporte, donde un error logístico puede causar grandes estragos.

Integración operativa y sinergias tecnológicas

Uno de los puntos fuertes de la automatización física actual es su capacidad de integración. Las tecnologías ya no se implementan como elementos aislados, sino que se combinan para formar un sistema logístico coherente. Un AMR puede

recibir órdenes directamente desde el sistema de gestión del almacén, coordinarse con una estación AS/RS y entregar la mercancía a una cinta transportadora que lo lleva a expedición. Esta conexión en tiempo real permite grandes avances como maximizar la eficiencia, reducir paradas innecesarias y eliminar zonas muertas dentro del flujo interno.

Element Logic insiste en que el valor real de estas tecnologías no reside únicamente en su capacidad individual, sino en cómo se conectan entre sí. Cuando el diseño está bien ejecutado, se consigue una operativa fluida, sin rupturas entre fases, y con una visibilidad completa sobre el movimiento de cada unidad.

Este tipo de automatización no está reservada a centros de distribución de gran tamaño. Muchas de estas tecnologías pueden introducirse de forma progresiva. Es habitual, por ejemplo, empezar automatizando el transporte interno mediante AMR o cintas modulares, y más adelante incorporar soluciones de clasificación o picking asistido. Esta flexibilidad modular hace que la automatización física sea hoy una opción realista incluso para empresas con recursos limitados o necesidades puntuales.

3.2.2 Tecnologías digitales de gestión y control

La automatización física, por sí sola, no garantiza una operación eficiente. Robots, transportadores o sistemas de almacenaje automático requieren una capa de software que orqueste sus movimientos. También es necesario que se supervise su estado y los conecte con las necesidades reales del almacén. En este sentido, los sistemas digitales hacen viable la automatización. Sin ellos, cada equipo funciona como una isla, y el conjunto pierde coherencia.

La base de esta infraestructura digital es el WMS (Warehouse Management System). Se trata del software encargado de organizar los procesos desde una perspectiva estratégica. Tiene varias funciones, como mantener el control del inventario, gestionar las entradas y salidas, asignar ubicaciones de forma óptima, generar órdenes de picking y sincronizar la información con el sistema de planificación general de la empresa (ERP). A través del WMS, el almacén obtiene trazabilidad completa de cada producto. Es decir, sabe qué hay, dónde está y en qué fase del proceso se encuentra (Addverb, 2025).

Ahora bien, el WMS no se encarga directamente de ejecutar las tareas dentro del almacén. Su rol es más bien el de planificador general. Para traducir esa planificación en acciones concretas, entra en juego una segunda capa de control, el WES (Warehouse Execution System). Este sistema actúa como puente entre el WMS y los equipos físicos. Su trabajo consiste en coordinar en tiempo real los recursos disponibles como son robots móviles, estaciones de trabajo, lanzaderas, etc. Adaptando las órdenes del WMS a la situación operativa del momento. Es decir, el WMS decide qué hay que hacer, pero es el WES quien decide cómo y cuándo hacerlo en función de aspectos como el estado del almacén, las prioridades, el ritmo de entrada de pedidos o la congestión de ciertas zonas.

Esta lógica es especialmente útil en entornos dinámicos. Por ejemplo, si una estación de picking está saturada o un transportador presenta una incidencia, el WES puede redirigir las órdenes hacia otra ruta o reasignar tareas a otros equipos, sin necesidad de intervención humana. A diferencia del WMS, que trabaja con una visión más estructurada, el WES opera con criterios de eficiencia en tiempo real.

Por debajo de este sistema de ejecución se encuentra el WCS (Warehouse Control System), que se ocupa de la capa más baja de la pirámide digital. Su función no es tomar decisiones ni coordinar recursos. Su función es controlar directamente el funcionamiento técnico de cada dispositivo. Hablamos de velocidades, arranques, paradas, sensores de seguridad, ciclos de trabajo. En otras palabras, el WCS da las órdenes técnicas a los equipos. Siempre siguiendo las instrucciones del WES o del WMS según la arquitectura implementada (Mecalux, 2025).

Aunque aparentemente parezca que hagan cosas muy parecidas, la realidad es que cada sistema cumple un rol específico. El WMS actúa como el cerebro estratégico, el WES como el coordinador operativo y el WCS como el ejecutor técnico. Lo que permite que la automatización funcione no es la existencia de estos sistemas por separado, sino su correcta integración. Solo cuando las tres capas están alineadas, el almacén puede responder correctamente. Asegurando eficiencia, agilidad y seguridad.

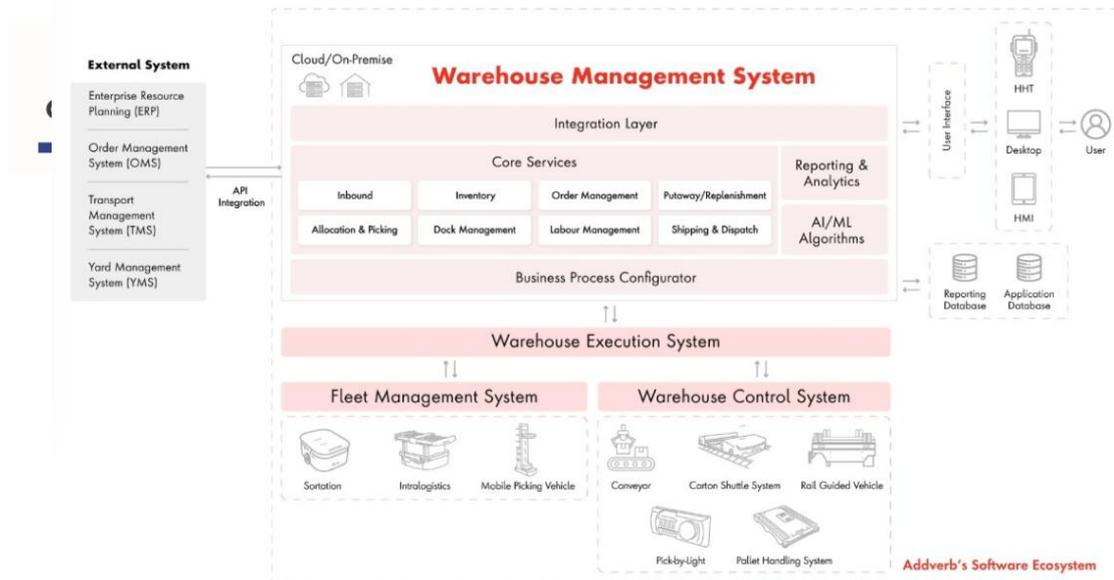


Ilustración 23. Funcionamiento conjunto de WES, WMS y WCS

Por otra parte, una de las claves de la digitalización de los almacenes es la capacidad que tienen para saber en todo momento qué está ocurriendo dentro. Esta visibilidad no se logra únicamente con software, se necesita de la integración de sensores y dispositivos que generan datos en tiempo real. Cada acción, desde la llegada de un pallet hasta la preparación de un pedido, deja un rastro digital que permite al sistema responder, registrar e incluso anticipar.

Según Mecalux, los sensores juegan un papel esencial en esta arquitectura. Desde lectores de códigos de barras o QR hasta sensores de peso, presencia o temperatura, cada elemento aporta información que nutre al WMS y al WES para tomar decisiones mejor informadas (Mecalux, 2025). En muchos casos, el uso de tecnologías RFID (identificación por radiofrecuencia) permite identificar productos sin necesidad de contacto visual directo, lo que agiliza el control de entradas y salidas, especialmente en zonas de alta rotación.

Esta sensorización convierte al almacén en un entorno reactivo. Si una unidad entra en una zona, el sistema lo registra automáticamente. Si un producto se desvía de su ruta prevista, se genera una alerta. Si una caja presenta un peso anómalo, puede activarse un protocolo de verificación. Esta capacidad de detección inmediata no solo mejora la trazabilidad, también reduce errores y permite corregir desvíos antes de que impacten en la operación.

Ahora bien, toda esta información pierde valor si no se interpreta correctamente. Por eso, una parte esencial de la digitalización consiste en traducir datos operativos en decisiones útiles. Aquí entra en juego la capa de analítica operativa. A través de dashboards, paneles de control y sistemas de alerta, los responsables

logísticos pueden visualizar en tiempo real indicadores clave. Como puede ser el nivel de ocupación, la eficiencia de las estaciones de picking, la productividad por turno o la tasa de errores por zona.

Esta analítica permite más cosas aparte de evaluar el rendimiento. También sirve para identificar cuellos de botella, anticipar necesidades de mantenimiento o reajustar turnos. En última instancia, es la herramienta que convierte el almacén en un sistema capaz de aprender de su propia actividad y mejorar continuamente.

3.3 Costes y decisiones económicas de la automatización logística

Adoptar tecnologías de automatización en un almacén no implica únicamente una transformación operativa, se trata además de una serie de decisiones estratégicas de inversión que pueden comprometer una parte significativa del capital del que dispone la empresa. Aunque el discurso tecnológico suele centrarse en la eficiencia y la innovación, el coste sigue siendo una barrera real, sobre todo para aquellas empresas que operan con márgenes ajustados.

El rango de inversión varía según factores como el grado de automatización y la complejidad de la instalación que se quiera llevar a cabo. No es lo mismo automatizar parcialmente una zona de picking que desplegar un sistema completo de almacenamiento y recuperación robotizado que incluya robots móviles, transportadores, software especializado y conexión a sistemas corporativos. Según estimaciones recientes, el coste total de un almacén automatizado puede oscilar entre los 500 000 y los 5 millones de euros, dependiendo de variables como el tamaño del proyecto, el tipo de mercancía, el número de referencias gestionadas y el nivel de personalización requerido.

Este rango incluye una serie de partidas que conviene analizar por separado. Por un lado, los sistemas AS/RS, ya sean basados en lanzaderas o grúas, representan uno de los bloques de inversión más elevados, con costes que pueden superar los 450 000 euros en versiones modulares, y multiplicarse en configuraciones más avanzadas. A esto se suman los robots móviles autónomos (AMR), que suelen tener un coste medio de entre 30 000 y 50 000 euros por unidad. Hay que tener en cuenta que estas cifras pueden escalar rápidamente si se integran con estaciones

de carga inteligente, navegación basada en inteligencia artificial o comunicación directa con el sistema de gestión (Nova Racking, 2025).

El software también representa una parte significativa de la inversión. Sistemas como el WMS o el WES, necesarios para coordinar las operaciones y gestionar el inventario, tienen un coste que oscila entre los 50 000 y los 500 000 euros. Todo depende de si se trata de una solución estándar o una integración a medida con el ERP existente. A esto se añaden otros costes como los de instalación, configuración, formación del personal y pruebas de puesta en marcha, que rara vez bajan de los 100 000 euros en proyectos medianos.

Por último, hay que considerar el mantenimiento, tanto preventivo como correctivo de los equipos. Esto puede suponer entre 50 000 y 200 000 euros anuales, según la dimensión y criticidad de los equipos instalados. Este aspecto suele quedar fuera de los cálculos iniciales, pero tiene un impacto directo sobre el retorno de la inversión si no se gestiona adecuadamente desde el inicio.

Todos estos componentes deben contemplarse como parte de una inversión estructurada y no como costes independientes. Es habitual que las empresas subestimen el alcance económico del proyecto al centrarse únicamente en el equipamiento visible. Pero hay que tener en cuenta los sistemas de control, el soporte técnico, la integración con procesos existentes o la necesidad de rediseñar el layout. Precisamente por eso, el análisis económico debe formar parte del proceso desde la primera fase de planificación, con una visión clara no solo del desembolso inicial, sino de los costes ocultos y del retorno esperado en función del volumen operativo.

Además de los componentes técnicos y económicos mencionados, hay una serie de variables contextuales que condicionan en gran medida el coste final de un proyecto de automatización. Uno de los más evidentes es el tamaño y complejidad del almacén, tanto en términos de superficie como de número de referencias gestionadas. Cuanto mayor es la variedad de productos y más heterogénea su rotación, más sofisticado debe ser el sistema para garantizar eficiencia y trazabilidad. A su vez, el grado de automatización elegido, total, parcial o modular, impacta directamente sobre la inversión. Mientras que un sistema integral exige una reestructuración profunda del layout y procesos internos, muchas empresas optan por automatizar zonas críticas, como el picking o el transporte interno, para reducir el riesgo inicial.

La compatibilidad con sistemas ya existentes también influye. Adaptar un nuevo WMS o WES a un ERP corporativo al igual que reconfigurar flujos de trabajo en almacenes ya operativos, puede encarecer el proyecto ya que se suele requerir desarrollos a medida. A esto se suman aspectos logísticos y geográficos como la ubicación del almacén, las condiciones constructivas de la nave, o las normativas locales de seguridad e instalaciones técnicas. Todas estas variables pueden convertir un presupuesto que inicialmente parece asequible en una inversión mucho más compleja de lo previsto.

Aunque es verdad, que a pesar de tener esos costes iniciales, la automatización ofrece beneficios operativos y económicos muy claros a medio plazo. Entre los más significativos está la reducción estructural de costes laborales, ya que se eliminan tareas repetitivas y manuales que requieren personal especializado. También mejora de forma notable la precisión de las operaciones, reduciendo errores en el picking, las pérdidas por rotura o las incidencias en entregas. La eficiencia en el uso del espacio es otro punto clave. Los sistemas AS/RS permiten aumentar la densidad de almacenamiento, lo que puede traducirse en una reducción de superficie alquilada o en la capacidad de escalar sin ampliar instalaciones (Nova Racking, 2025).

Para ilustrar estos efectos de forma más concreta, se puede tomar como ejemplo una instalación hipotética de tamaño medio. Supongamos un almacén que decide automatizar su zona de picking, parte del almacenamiento y el transporte interno. Para calcular la inversión de manera aproximada se tendría que sumar el coste del sistema AS/AR modular que serían unos 450.000 euros, una flota de 8 robots móviles, con un coste total de 480.000, siendo el coste unitario 60.000 según artículos sectoriales. Habría que añadirle a su vez licencias de software WMS/WES e integración con un coste de 180.000 € y costes asociados a instalación, formación y configuración técnica por 220.000 €. Toda esta inversión ascendería a un total aproximado de 1.330.000 euros (Nova Racking, 2025).

Tras la automatización, la empresa reduciría unos 6 puestos de trabajo, los cuales teniendo en cuenta que el ahorro por cada trabajador es de unos 28.000 euros (incluyendo un salario bruto de 21.000 y unos costes asociados a la empresa del 33%, en concepto de cargas sociales y costes indirectos). El ahorro total por personal sería de unos 168.000 euros. A esto hay que sumarle 50.000€ en reducción de errores operativos y 15.000€ en optimización de espacio. El ahorro total alcanzaría los 233.000€ brutos anuales. Hay que tener en cuenta el

mantenimiento de los equipos (9%), el beneficio neto anual quedaría en 113.000€ aproximadamente.

Bajo este escenario se ha realizado un análisis financiero simplificado a 5 años, con una tasa de descuento del 8%:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde I_0 es la inversión inicial, F_t es el flujo de caja neto en el año t , r es la tasa de descuento y n es el número de años analizados. Sustituyendo valores sale un VAN de -648.000€, lo que indica que, bajo este horizonte temporal de 5 años, la inversión no resulta rentable en términos actualizados. Lo que concuerda con el payback simple que es de unos 12 años aproximadamente.

$$Payback\ simple = \frac{1.330.000}{113.000} = 11.8\ años$$

$$ROI = \frac{1}{11.8} = 8.49\%$$

El ROI (return on investment) por otra parte es del 8.49% (1/Payback), lo cual se puede considerar aceptable pues por cada euro invertido, se recuperan 0,0849 euros anuales de beneficio neto.

Este tipo de análisis no pretende dar una cifra definitiva, pero sí sirve como referencia para dimensionar el tipo de decisiones que deben tomarse antes de iniciar un proceso de automatización. Es fundamental no limitarse a calcular el coste de la maquinaria. Hay varias cosas a considerar como su integración, su impacto real sobre la estructura del almacén y el tiempo necesario para que la inversión genere un retorno razonable. Solo así es posible decidir con criterio si una tecnología concreta tiene sentido para un determinado entorno logístico o si por el contrario, conviene adoptar soluciones más graduales o híbridas

Capítulo 4. Caso de Amazon

4.1 Evolución de Amazon en automatización logística

La automatización logística que llevó a cabo Amazon surgió como una respuesta a la necesidad operativa que estaba demandando el sector en aquellos momentos. Esta necesidad era la de gestionar un volumen de pedidos creciente sin comprometer la eficiencia, la velocidad ni la seguridad del entorno de trabajo. Este proceso, que comenzó formalmente en 2012 con la adquisición de la empresa Kiva Systems, marcó un antes y un después en la manera en que se diseñan y operan los centros logísticos a gran escala.



Ilustración 24. Kiva Systems

Kiva Systems ofrecía en aquel momento una solución radicalmente distinta al modelo tradicional. En lugar de desplazar a los operarios por el almacén para recoger los productos, el sistema proponía mover las estanterías móviles hacia los puestos de preparación. Esta inversión de lógica operativa, también conocida como “producto hacia el operario”, permitía reducir drásticamente los desplazamientos internos y reorganizar el flujo físico en función de la demanda real. Apenas unos meses después de cerrar la compra, Amazon dejó de comercializar la tecnología a terceros, y reorganizó la empresa bajo el nombre de Amazon Robotics. Tenían un objetivo en mente, desarrollar y escalar internamente estas soluciones en sus propios centros logísticos (About Amazon, 2022).

En los años siguientes, la compañía ha ido ampliando progresivamente su catálogo de soluciones robóticas, adaptando cada tecnología a una función específica dentro del flujo logístico. A los primeros sistemas Kiva se sumaron plataformas como Pegasus, la cual estaba orientada a clasificación de paquetes. También

desarrollaron Xanthus un sistema más compacto y modular, y posteriormente Proteus, el primer robot autónomo de la compañía diseñado para operar en entornos compartidos con trabajadores sin necesidad de barreras físicas.

Paralelamente, Amazon ha ido incorporado tecnologías complementarias centradas en tareas de mayor complejidad. En 2022 presentó Sparrow, un brazo robótico dotado de visión artificial y algoritmos de aprendizaje automático. Sparrow es capaz de identificar y manipular artículos con distintas formas, materiales y texturas. Más recientemente, ha desarrollado Titan, un robot de gran capacidad diseñado para mover cargas de hasta 1 300 kilogramos, pensado para entornos de alta densidad y manipulación intensiva de pallets. Estas soluciones no reemplazan al modelo original de Kiva, sino que lo amplían, cubriendo fases del proceso que hasta ahora requerían intervención humana o maquinaria convencional.

En términos de escala, el despliegue ha sido muy bueno. Según datos corporativos, Amazon ha superado los 750 000 robots móviles desplegados en sus centros de todo el mundo. Cuentan con más de 300 instalaciones que ya incorporan algún grado de automatización. La automatización ha sido clave para sostener servicios que Amazon ofrecía como el Prime o Same-Day Delivery, donde la promesa de entregas en pocas horas exige una sincronización casi total entre recepción, preparación y expedición. Sin sistemas robotizados y software de gestión integrado, este nivel de servicio sería inviable a gran escala (About Amazon, 2022).

Otros objetivos que perseguía la automatización a lo largo de estos 12 años y que han pasado más desapercibidos han sido la seguridad y la ergonomía. Los sistemas actuales permiten reducir movimientos repetitivos, minimizar cargas físicas y rediseñar los puestos de trabajo para que el operario interactúe con los sistemas sin asumir los riesgos propios de entornos logísticos intensivos. Esto no elimina los desafíos derivados de la automatización en cuanto a empleo o formación, pero sí muestra que la evolución tecnológica ha venido acompañada de una revisión del propio modelo de operación.

4.2 Tecnologías implantadas por Amazon

El punto de partida, donde Amazon comenzó toda su automatización, fue Kiva, el sistema original adquirido en 2012, cuya propuesta rompía con la lógica tradicional del almacén. En lugar de enviar al operario hacia los productos, Kiva automatizaba el desplazamiento de las estanterías móviles hacia estaciones fijas de trabajo. Esta solución supuso una mejora significativa en tiempos de preparación y distancia recorrida.

Después de Kiva, desarrollaron Sequoia, una solución integral diseñada para optimizar la recepción, clasificación y almacenamiento de productos entrantes. Sequoia utiliza una combinación de robótica móvil, visión artificial y estaciones de trabajo ergonómicas para reducir el tiempo que transcurre desde que un artículo llega al centro hasta que está disponible en el sistema para su expedición. La compañía afirma que este sistema ha permitido reducir en un 75 % el tiempo de entrada de inventario y aumentar la precisión operativa en más de un 25 % (Tyler Greenawalt, 2025).

En paralelo, Amazon ha desarrollado soluciones para tareas de manipulación directa. Este es el caso de Sparrow, un brazo robótico equipado con visión por computadora y algoritmos de inteligencia artificial. A diferencia de robots industriales tradicionales, diseñados para manejar piezas uniformes, Sparrow es capaz de identificar, agarrar y desplazar objetos de diferentes tamaños, formas y materiales. Esto le permite participar en tareas de picking complejas, donde la variabilidad de productos representa un gran reto técnico. La implementación de Sparrow responde, entre otros factores, a la necesidad de automatizar tareas que hasta ahora requerían intervención humana por su nivel de detalle o sensibilidad.



Ilustración 25. Robot Sparrow de Amazon Robotics

Otro de los sistemas recientes más destacados es Titan, un robot de transporte de gran capacidad diseñado para manipular cargas de hasta 1 300 kilogramos. Su función principal es mover contenedores pesados dentro del almacén de forma autónoma. Esto permite reducir el uso de carretillas elevadoras y aumentar la densidad operativa en zonas de alto volumen. Titan forma parte de un conjunto de robots logísticos que Amazon clasifica según función y entorno. Dentro de esta selección destaca Hercules, encargado del transporte de estanterías modulares (similar a Kiva pero más compacto), y Proteus, un robot móvil autónomo que puede operar sin necesidad de barreras físicas, detectando y esquivando a los operarios mediante sensores avanzados.



Ilustración 26. Robot Titan de Amazon Robotics



Ilustración 27. Robot Proteus de Amazon Robotics

Como se puede observar la especialización en este entorno es máxima. Cada robot está diseñado para una función concreta dentro de una cadena en la que se exige máxima eficiencia, tolerancia a la demanda variable y sincronización continua. La clave del sistema no está únicamente en las capacidades individuales de cada robot, sino en cómo se coordinan entre sí y con el software de gestión del centro. En ese sentido, Amazon ha construido una arquitectura tecnológica en la que la

robótica, la inteligencia artificial y la automatización física actúan de manera entrelazada y cohesionada.

El resultado de esta estrategia es una red logística capaz de absorber millones de pedidos diarios sin perder trazabilidad, reduciendo los tiempos de ciclo por debajo del estándar del sector y manteniendo un nivel de servicio uniforme a escala global. No se trata únicamente de tener más robots, sino de haber desarrollado una lógica de automatización escalable, modular y alineada con los objetivos estratégicos del negocio.

4.3 Modelo de integración y coordinación cooperativa

Lo que realmente diferencia a Amazon dentro del ecosistema logístico global no es solo la escala ni la cantidad de robots desplegados, sino la manera en que ha sido capaz de integrar todas las piezas del sistema. Ha sido capaz de integrar la tecnología las personas y el software en un flujo operativo cohesionado y adaptable. La automatización, por sí sola, no garantiza eficiencia si cada sistema funciona de forma aislada. La clave está en cómo se conectan esos elementos entre sí, cómo responden al contexto operativo real y cómo se reconfiguran continuamente en función de la demanda.

En los centros logísticos automatizados de Amazon, cada tecnología cumple una función específica, pero ninguna opera de forma autónoma sin coordinación. Desde que un producto llega al centro hasta que es clasificado, empaquetado y enviado, intervienen distintos sistemas: brazos robóticos como Sparrow para la identificación y manipulación de artículos, clasificadores como Cardinal que agrupan paquetes por rutas de entrega, o vehículos autónomos como Proteus, encargados de desplazar la mercancía entre zonas sin requerir caminos segregados ni supervisión directa. Todos ellos están conectados a través de una capa de software que no solo envía órdenes, sino que interpreta el estado del sistema en tiempo real y ajusta las prioridades dinámicamente (Joseph Quinlivan, 2023).



Ilustración 28. Centro Lógico de Amazon

Cada robot o estación de trabajo forma parte de una arquitectura flexible que Amazon ajusta con frecuencia a partir del comportamiento del sistema y de la interacción con los propios trabajadores. La compañía describe su enfoque como un proceso iterativo. Primero se implementa una nueva tecnología en una zona controlada, se observa cómo afecta al rendimiento, se recopila feedback de los operarios, y a partir de ahí se decide si expandir su uso, modificar su funcionamiento o integrarlo con otras herramientas. No hay automatización impuesta, sino evolución progresiva con pruebas de concepto reales. Este enfoque permite mantener el flujo operativo incluso cuando se introducen sistemas complejos o altamente novedosos.

Uno de los ejemplos más clara de esta integración es el flujo outbound, la fase de salida de mercancías, en los centros que utilizan Cardinal y Proteus. Cuando se completa el empaquetado, Cardinal organiza los paquetes en carros móviles, agrupándolos por códigos postales para optimizar la carga posterior. Esta tarea, que anteriormente requería fuerza física y atención continua, se realiza ahora con un brazo robótico, encajando las unidades en función del volumen y destino. Una vez completado el carro, Proteus lo recoge y lo desplaza de forma autónoma hacia los muelles de expedición. Todo este proceso se realiza sin necesidad de delimitar rutas exclusivas ni detener el trabajo de los operarios. La interacción es directa, segura y continua. Los sensores del robot detectan la presencia de personas y ajustan su velocidad y trayectoria para evitar colisiones.

Es decir, la idea central en la que se apoya la logística de Amazon es que el almacén no es una suma de máquinas, sino un sistema vivo donde cada componente ya sean humanos o robots, tiene una función que se reajusta constantemente. Esta lógica, que puede parecer compleja desde fuera, es la que permite a la compañía absorber un volumen diario de millones de pedidos sin perder trazabilidad, seguridad ni velocidad de respuesta (Joseph Quinlivan, 2023).

4.4 Impacto operativo y económico

Analizar el impacto que ha tenido la automatización en empresas como Amazon es especialmente relevante por dos motivos. Primero por su gran escala, Amazon cerró el 2024 con 640.000 millones de dólares en facturación, y segundo por el grado de integración entre el hardware, software y personal humano que tiene.

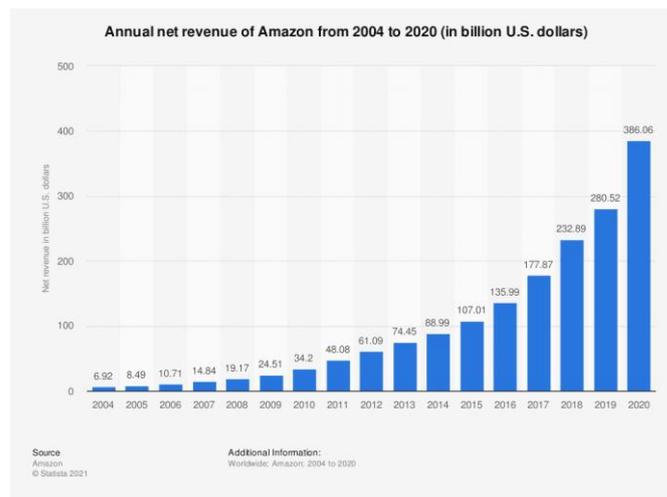


Ilustración 29. Facturación de Amazon hasta el 2020

A nivel de capacidad operativa, Amazon es insuperable, logrando desplegar más de 750.000 unidades robóticas, siendo esta la flota industrial más grande del mundo. La integración ha sido tal, que Amazon ha logrado automatizar el 75% de todas sus entregas globales. Esto significa que tres de cada cuatro pedidos que gestiona la compañía ya son intervenidos en algún punto por un sistema robótico, sea en almacenamiento, picking, transporte interno o empaquetado (Greenawalt, Tyler, 2024).

Dentro de sus logros uno de los más relevantes es el Sequoia puesto que gracias a su arquitectura avanzada es capaz de identificar y almacenar inventario con un 75% más de velocidad que sus rivales. Este sistema es capaz de manejar más de 30 millones de referencias activas, multiplicando por 5 las referencias que se podían gestionar en los primeros centros automatizados. Esto permite unos niveles de stock indudablemente altos lo cual hace considerablemente más rentable la inversión en los centros logísticos (Robotics, Scott Dresser, VP, Amazon, 2023).

En términos de productividad individual, los resultados son igualmente significativos. Con el modelo de robot móvil tipo Kiva, Amazon ha documentado picos de más de 600 picks por hora en estaciones de picking asistido, frente a las 200 400 que suelen alcanzarse en modelos convencionales basados en cintas o estanterías dinámicas. Este salto en rendimiento permite dimensionar con mayor flexibilidad la carga de trabajo y distribuirla de forma más eficiente según el turno o la zona (Gray, Conrad, 2023).

Más allá de la eficiencia pura, Amazon también ha priorizado mejoras en seguridad y ergonomía. En los últimos cinco años, las lesiones relacionadas con el trabajo que necesitan una recuperación media o alta se han reducido en un 34 %, mientras que los incidentes con pérdida de tiempo han descendido un 65 %, y los accidentes registrables han caído un 6 % en el último año. Estos datos no solo reflejan una mejora en el entorno laboral, sino que también evidencian el papel que juega la automatización a la hora de reducir tareas repetitivas, pesadas o mal diseñadas desde el punto de vista ergonómico (About Amazon, 2024)

En paralelo, la compañía ha seguido reforzando su apuesta por la sostenibilidad operativa. Más de 120 sistemas de empaquetado automatizado han sido reconvertidos para fabricar envases de papel a medida, eliminando la necesidad de más de 130 millones de bolsas plásticas al año y permitiendo que uno de cada cinco productos pueda ahora ser enviado en embalaje reciclable, sin aumentar volumen ni peso (Staff, Amazon, 2022).

Por último, el impacto económico agregado de todo este proceso es difícil de ignorar. Según estimaciones de Morgan Stanley, si Amazon consigue trasladar entre un 30% y un 40 % de sus pedidos a centros completamente automatizados, el ahorro operativo anual podría alcanzar los 10 000 millones de dólares a partir de 2030. A corto plazo, la compañía ya ha empezado a ver los beneficios de escala, solo en 2024, logró entregar más de 5 000 millones de productos en el mismo día o al siguiente, lo que representa un aumento del 30 % respecto al año anterior (Edison Group, 2025).

Capítulo 5. Modelo de Madurez Logística para la Automatización

En el contexto actual de transformación logística, donde grandes operadores como Amazon han llevado la automatización a lo más alto, muchas empresas, pequeñas o medianas se preguntan en qué punto exacto se encuentran y qué pasos concretos deberían dar para avanzar. No siempre es evidente si un almacén opera de manera eficiente. Los empresarios no tienen claro si el nivel de trazabilidad que tienen con los productos es correcto o si los tiempos en la recepción de productos son los adecuados. Es por eso por lo que es muy útil contar con un marco estructurado que permita evaluar de forma sistemática el grado de madurez operativa de una instalación logística.

A diferencia de los grandes referentes del sector, que disponen de recursos para realizar auditorías internas complejas, muchas PYMES carecen de una herramienta sencilla, objetiva y basada en datos contrastados que les sirva para posicionarse y tomar decisiones. Este capítulo propone precisamente resolver este problema estableciendo un modelo de madurez logística centrado en la automatización. Cabe resaltar que no se busca proponer una receta técnica cerrada, sino una guía de diagnóstico aproximada. Su utilidad reside en permitir que cualquier responsable logístico, sin necesidad de conocimientos avanzados, pueda situar su operación dentro de una escala realista, comparar su rendimiento con valores de referencia y valorar con fundamento qué mejoras podrían tener mayor impacto.

5.1 Fundamentos metodológicos del modelo

El desarrollo de este modelo parte de una premisa, y es que para que realmente sea útil, debe basarse en indicadores logísticos de fácil medición y clara interpretación. Es por eso que se ha decidido construir una escala de madurez partir de métricas operativas publicadas por fuentes sectoriales de reconocido prestigio, como el informe DC Measures elaborado por la Warehousing Education

and Research Council (WERC) y análisis de mercado vinculados al coste del fulfillment en entornos B2C. Estos estudios recogen cada año datos estadísticos de cientos de almacenes, permitiendo establecer rangos de comportamiento para parámetros como la productividad, la precisión del picking o los tiempos de ciclo.

A partir de esa base documental se ha definido una estructura de cinco niveles, del 0 al 4, que representan distintos estados de evolución logística. El nivel 0 corresponde a operaciones manuales, sin digitalización relevante, mientras que el nivel 4 refleja un grado de automatización inteligente equiparable al que presentan instalaciones como las de Amazon. En este nivel se integra robótica móvil, visibilidad total de inventario y algoritmos de optimización en tiempo real. Los niveles intermedios se construyen escalonando los valores típicos que muestran las empresas en cada métrica según los percentiles recogidos en los informes. De forma simplificada, el primer cuartil se asocia al nivel 1, la mediana al nivel 2, el tercer cuartil al nivel 3, y los valores “best-in-class” al nivel 4.

En todos los casos, se ha priorizado la trazabilidad de los datos y la posibilidad de medición directa por parte de una PYME. Las métricas elegidas no requieren instrumentación avanzada ni cálculos complejos, ya que pueden extraerse fácilmente de un sistema ERP (Enterprise Resource Planning) o incluso de hojas de seguimiento manual. Por otro lado, aunque bien es cierto que los rangos utilizados proceden en su mayoría de Estados Unidos, su aplicación se considera válida en el contexto europeo, dado que lo que se compara no es el valor absoluto de cada métrica, sino la relación progresiva entre distintos niveles de desempeño. La finalidad del modelo es proporcionar una referencia operativa que permita entender dónde se está y qué mejoras pueden marcar una diferencia tangible.

5.2 Definición de los niveles de madurez

En el nivel más bajo de la escala, el 0, se encuentran las operaciones logísticas que dependen casi por completo del trabajo manual. La ausencia de sistemas de gestión especializados obliga a organizar las tareas con métodos informales, como el uso de papel, hojas de cálculo aisladas o comunicación verbal entre operarios. Los procesos suelen estar poco estandarizados, esto se traduce en una elevada variabilidad en los tiempos, un control limitado sobre el stock y una tasa de error elevada. Aunque este tipo de operación puede mantenerse en entornos de baja

complejidad o con volúmenes reducidos, cualquier incremento significativo en la demanda suele tensionar la capacidad del sistema de forma inmediata.

Al avanzar hacia el nivel 1, se empieza a observar una cierta digitalización. La empresa ya ha implantado alguna herramienta informática básica, como un módulo logístico en su ERP o un sistema de control de entradas y salidas, pero la ejecución de los procesos sigue siendo manual. Los operarios trabajan con listas impresas, el picking se realiza sin asistencia digital y las decisiones operativas dependen del conocimiento individual. Aunque esto permite reducir ciertos errores y mejorar mínimamente la trazabilidad, la productividad sigue siendo limitada y los costes por pedido tienden a ser elevados debido al uso intensivo de mano de obra.

El nivel 2 marca el inicio real de la automatización. Aquí, el almacén incorpora elementos como terminales móviles, sistemas de picking guiado o gestión automatizada de ubicaciones. La operativa se beneficia de una mayor visibilidad en tiempo real y se empiezan a aplicar criterios de eficiencia en la planificación de rutas o en la asignación de tareas. Aún no existe una automatización física intensa, pero la digitalización de procesos permite ganar estabilidad operativa, reducir el número de errores y mejorar notablemente los indicadores de productividad.

Cuando se alcanza el nivel 3, la automatización ya no es parcial, sino estructural. La instalación cuenta con sistemas integrados, como un WMS avanzado, y ha desplegado soluciones tecnológicas que automatizan tareas repetitivas o de baja complejidad, como el transporte interno, la clasificación de pedidos o el seguimiento del inventario. En muchos casos, se incorporan vehículos autónomos, cintas transportadoras o estaciones de picking asistido. La información fluye entre sistemas y los datos se utilizan activamente para tomar decisiones. Este tipo de almacenes logran acortar de forma significativa los ciclos operativos y, sobre todo, estabilizar los costes en contextos de alta demanda.

Finalmente, el nivel 4 representa un estado de automatización inteligente, en el que la tecnología no solo ejecuta procesos, sino que contribuye a optimizarlos de forma continua. La integración entre sistemas es total, la trazabilidad de cada unidad logística es prácticamente absoluta y los algoritmos de planificación se adaptan a la disponibilidad de recursos. Empresas como Amazon, que combinan robótica, inteligencia artificial y flujos sincronizados en toda la cadena, operan en

este nivel. Los rendimientos productivos que estos almacenes consiguen son inalcanzables para almacenes convencionales y los errores se reducen casi al cero.

A continuación, se adjunta la tabla resumen del Modelo de Madurez Logística:

Nivel	Descripción del nivel	Soluciones y prácticas típicas	Implicaciones
0. Manual tradicional	Operación manual sin sistemas de gestión, procesos poco estandarizados y alta tasa de error.	Control de stock básico, registro manual de entradas y salidas.	Baja fiabilidad de inventario, errores frecuentes y dificultad para aumentar el volumen sin perder control operativo.
1. Digital básico	Uso de herramientas informáticas sencillas, con ejecución aún manual y listas impresas.	ERP con módulo logístico básico, control de entradas y salidas digitalizado, pero no integrado.	Mejora parcial de trazabilidad y reducción ligera de errores, pero la productividad sigue siendo limitada.
2. Automatización parcial	Inicio de la automatización con terminales móviles, picking guiado y gestión automatizada de ubicaciones.	Rutas optimizadas, asignación automática de tareas, WMS básico.	Aumento significativo de productividad, reducción de tiempos de preparación y mayor precisión en pedidos.
3. Automatización avanzada	Integración de sistemas y soluciones para automatizar tareas repetitivas como transporte interno o clasificación.	AGV/AMR, transportadores, estaciones de picking asistido, WES para balanceo de carga.	Coste por pedido más estable incluso en picos, reducción de ciclos y mejor aprovechamiento del espacio.
4. Automatización inteligente	Integración total entre sistemas y optimización continua con algoritmos de planificación.	Sistemas goods-to-person, AS/RS, orquestación en tiempo real.	Eficiencia máxima, errores prácticamente nulos y alta capacidad de respuesta ante cambios en la demanda.

Tabla 1. Tabla Resumen del Modelo de Madurez Logística. Fuente: Elaboración propia

5.3 KPIs y métricas del modelo

La evaluación del nivel de madurez logística en este modelo se fundamenta en cuatro indicadores clave que, además de ser reconocidos en el sector, permiten una medición directa y realista por parte de cualquier empresa. Se ha optado por métricas que reflejan distintas dimensiones del rendimiento operativo, productividad, precisión, eficiencia temporal y coste, y que cuentan con rangos de referencia suficientemente contrastados en informes técnicos recientes. A partir de ellos, se incorporan también dos métricas derivadas, calculadas mediante fórmulas simples pero reveladoras, que aportan una visión económica más afinada del impacto de la automatización.

El primer indicador hace referencia a la productividad directa del picking, medida en líneas preparadas por hora y por operario. Esta métrica, conocida como *Lines Picked & Shipped per Hour*, permite estimar cuántas referencias distintas procesa un operario logístico en un turno medio, y es especialmente sensible al grado de

digitalización del almacén. Los valores de referencia utilizados en el modelo se extraen del informe DC Measures elaborado por Honeywell, que recoge percentiles detallados de esta métrica en cientos de centros logísticos en Norteamérica. El salto entre niveles es significativo, mientras en operaciones manuales apenas se superan las 10–15 líneas por hora, en instalaciones avanzadas, asistidas por sistemas de picking guiado o robótica, se pueden alcanzar ratios superiores a las 90 líneas/hora.

En segundo lugar, se considera la precisión del picking, expresada como el porcentaje de pedidos que se preparan sin errores antes de la expedición. Este indicador, más allá de su impacto en la satisfacción del cliente, tiene consecuencias operativas relevantes, ya que cada error implica costes logísticos añadidos y correcciones posteriores. La literatura sectorial identifica valores cercanos al 99 % como aceptables en entornos manuales, pero solo los almacenes más automatizados superan el umbral del 99,9 %, considerado técnicamente como referencia “best-in-class”.

El tercer KPI tiene que ver con la agilidad en la recepción, y se mide mediante el tiempo que transcurre entre la llegada de una mercancía al muelle y su disponibilidad en el sistema como inventario utilizable. Este ciclo, conocido como *Dock-to-Stock*, refleja el grado de eficiencia en procesos internos como la inspección, la ubicación y el alta de productos. A medida que se digitalizan estos flujos y se integran tecnologías como el escaneado automático, es posible reducir este tiempo de manera notable. Según los datos analizados, las operaciones más eficientes logran completar este ciclo en menos de dos horas, mientras que en almacenes manuales puede superar con facilidad las 24.

Por último, se incorpora el coste medio de preparación por pedido, extraído de estudios recientes realizados por MDM. Esta métrica refleja de forma directa el impacto económico del modelo operativo, e incluye tanto el picking como el empaquetado. Los valores empleados para esta métrica provienen de encuestas publicadas en 2024 por plataformas especializadas, y oscilan entre algo más de cinco dólares por pedido en instalaciones manuales, y menos de dos en entornos completamente automatizados. Aunque las cifras varían según el sector y el volumen de operaciones, la tendencia es clara, cuanto mayor es el grado de automatización, menor es el coste unitario (MDM, 2024).

Además de estos cuatro indicadores, el modelo introduce dos métricas derivadas que permiten cuantificar con mayor precisión el impacto económico de la

eficiencia operativa. La primera de ellas es el coste por línea preparada, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Coste por línea} = \frac{\text{Coste por pedido}}{\text{Numero de líneas}}$$

A efectos del modelo, se ha asumido un valor conservador de dos líneas por pedido, pero se puede personalizar para cada empresa en función de su sector. Esta métrica permite evaluar el rendimiento económico del proceso de preparación de pedidos. Si dos almacenes tienen un precio medio por pedido de 4 euros, pero el segundo almacén tiene el doble de líneas (productos diferentes) significa que es más eficiente pues aun teniendo que moverse a dos localizaciones distintas con lo que ello conlleva siguen manteniendo el mismo coste de preparación por pedido, por extensión, tiene un coste por línea menor ($\text{Coste por línea} = 4 / (2 \text{ líneas}) = 2$ euros). Esto se puede ver materializado en los almacenes altamente automatizados pues son capaces de integrar muchas líneas de productos en un mismo pedido manteniendo sus costes constantes.

La segunda métrica derivada estima el coste acumulado de errores por cada mil pedidos preparados, combinando el coste unitario con la tasa de precisión. Aunque los errores de picking no generan siempre un gasto directo equivalente al coste del pedido, esta aproximación ofrece una forma sencilla de valorar el peso económico de una precisión poco óptima. Así, una diferencia de apenas medio punto porcentual en la tasa de aciertos puede traducirse en decenas o incluso cientos de euros de coste adicional por cada millar de pedidos expedidos. La fórmula empleada en este modelo es la siguiente:

$$\text{Coste de errores} = (1 - \text{precisión}) \times \text{coste por pedido} \times 1000$$

Suponiendo una fábrica de producción de contenedores por ejemplo que cuenta con una precisión del picking de las materias primas del 99.1% y un coste medio por pedido de 2.9 \$, el coste de errores = $(1 - 0.991) \times 2.9 \times 1000 = 26.1$ \$ por cada 1000 pedidos. Lo cual es coherente con el modelo propuesto.

5.4 Tabla del modelo de madurez

El siguiente paso para establecer el modelo es definir los rangos de las métricas para cada nivel de automatización, para ello se han utilizado los percentiles publicados en estudios como el de *DC Measures 2018 Trends and Challenges I*

como base de referencia, aplicando un criterio progresivo que permite reflejar con precisión las mejoras asociadas a cada salto de nivel. Los valores del primer cuartil marcan el umbral inferior del modelo, mientras que los considerados best-in-class delimitan el nivel más avanzado. A continuación, se presenta la tabla completa, en la que se recoge el comportamiento típico de cada indicador en función del grado de automatización alcanzado.

Indicador	0 Manual tradicional	1 Digital básico	2 Automatización parcial	3 Automatización avanzada	4 Automatización inteligente
Líneas/h	< 12	12 – 26	26 – 47	48 – 92	≥ 92,8
Precisión (%)	< 98	98 – 99	99 – 99,5	99,5 – 99,89	≥ 99,9
Dock-to-Stock (h)	> 24	8 – 24	4 – 8	2 – 4	< 2
Coste pedido (\$)	> 5,0	4 – 5	3 – 4	2 – 3	< 2
Coste por línea (\$)	> 3,0	2,25 – 3	1,75	1,25	0,75
Coste errores/1000 (\$)	≈ 150	≈ 67	≈ 25	≈ 8	≈ 1,5

Tabla 2. Modelo de maduración logística para la automatización. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la interpretación de los datos, lo primero es observar cómo el salto entre niveles no es simplemente lineal, sino exponencial en algunos casos. La productividad, por ejemplo, apenas dobla su valor entre los niveles 0 y 2, pero se multiplica por más de tres cuando se alcanza el nivel 4. Algo similar ocurre con el coste por pedido, la reducción es progresiva en los primeros niveles, pero se acentúa de forma muy clara al superar la barrera de los sistemas integrados. Otro aspecto relevante es la correlación entre precisión operativa y coste oculto de errores.

Productividad de picking vs. nivel de automatización

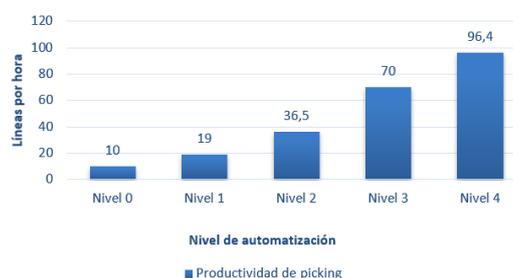


Ilustración 30. Elaboración propia

Aunque una diferencia de apenas medio punto porcentual en la tasa de aciertos pueda parecer irrelevante en términos relativos, su impacto económico resulta significativo cuando se traduce a escala. A partir del nivel 2, esa mejora se hace evidente, y en los niveles más altos el coste por errores cae a valores prácticamente despreciables. Esta tendencia justifica, en parte, la inversión en tecnologías de asistencia al picking, ya que no solo mejoran la productividad, sino que reducen el coste total asociado a errores de manipulación.

También resulta llamativa la evolución del ciclo *dock-to-stock*. Mientras que en operaciones tradicionales pueden transcurrir más de 24 horas entre la llegada de una mercancía y su disponibilidad real, en los niveles más automatizados este tiempo se reduce a menos de dos horas. Esta agilidad es realmente diferencial para mejorar la rotación de inventario, pero sobre todo para ser capaz de absorber los picos de demanda puntuales.

Tiempo Dock-to-Stock vs. nivel de automatización

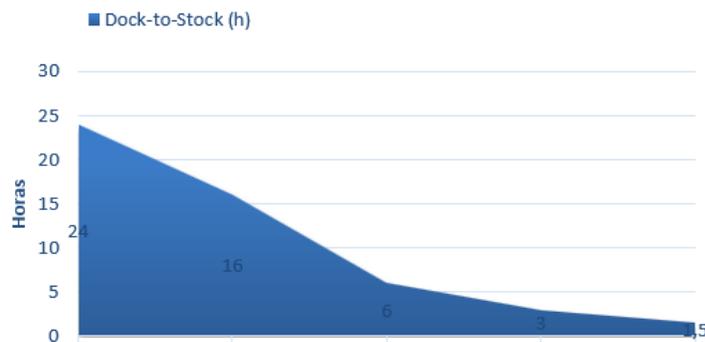


Ilustración 31. Elaboración propia

En conjunto, el modelo muestra que no todos los saltos de nivel implican la misma complejidad ni requieren la misma inversión. Mientras que pasar del nivel 0 al 1 puede lograrse con cierta rapidez mediante digitalización básica, alcanzar el nivel 3 o 4 implica una transformación estructural tanto en procesos como en tecnología. No obstante, los retornos potenciales también son significativamente mayores, sobre todo en escenarios donde el volumen o la volatilidad de la demanda obligan a operar con márgenes muy ajustados.

5.5 Costes de la implementación por nivel

El modelo de madurez que se ha desarrollado no solo permite clasificar el grado de automatización de un almacén, sino que también plantea, implícitamente, una hoja de ruta de evolución tecnológica. Sin embargo, cada salto de nivel conlleva una serie de costes que deben analizarse cuidadosamente para analizar así la viabilidad económica por parte de la empresa. En este apartado se resumen los principales rangos de inversión asociados a cada transición, basándose principalmente en datos proporcionados por el fabricante NOVA Racking (2024).

Pasar del nivel 0 al nivel 1 y alcanzar un entorno digital básico, se necesita incorporar sistemas informáticos elementales y dotar a los operarios de herramientas tecnológicas mínimas. La inversión necesaria suele centrarse en la implantación de un software de gestión logística, normalmente en la nube, junto con dispositivos móviles o lectores de códigos de barras. Aunque los costes varían según el proveedor y la escala, el desembolso inicial para una solución sencilla puede rondar los 20.000 a 40.000 euros. Se trata, por tanto, de una barrera de entrada moderada, asumible por pequeñas empresas.

La transición del nivel 1 al nivel 2 supone adentrarse en la automatización funcional. Aquí, el almacén incorpora terminales móviles, tecnologías de asistencia al picking e incluso transportadores de baja capacidad. NOVA Racking señala que un sistema de transportadores automatizados de tamaño medio puede costar entre 200.000 y más de 1.000.000 de euros, dependiendo de la complejidad del recorrido y del grado de personalización. A ello deben sumarse los costes del software necesario para orquestar estas operaciones. Por tanto, aunque existe cierto margen para modular la inversión, el salto a este nivel 2 exige una apuesta firme por la automatización estructural, con costes iniciales que difícilmente bajan de los 200.000 euros.

El paso del nivel 2 al nivel 3 supone la implantación de soluciones robóticas. En este nivel, se incorporan vehículos autónomos, estaciones de picking asistido y sistemas de clasificación automatizada, todos ellos conectados a un sistema de gestión avanzada. La inversión inicial se incrementa de forma significativa. El precio de un solo robot móvil puede oscilar entre 10.000 y 100.000 euros, y la implantación de sistemas completos como estaciones inteligentes suele superar los 300.000 euros. Según la fuente de Nova Racking, la inversión media en este



nivel se sitúa entre 2 y 5 millones de euros. Aunque es verdad que existen configuraciones modulares que permiten abordar esta transformación de forma progresiva.

Finalmente, alcanzar el nivel 4 implica la integración de tecnologías de vanguardia, como sistemas AS/RS, algoritmos de planificación avanzada y flujos de datos en tiempo real. Se trata de almacenes diseñados desde cero o transformados radicalmente, donde la automatización no solo sustituye tareas humanas, sino que introduce una lógica operativa basada en eficiencia algorítmica. La inversión en un sistema AS/RS complejo puede superar fácilmente los 2 millones de euros, y, en instalaciones completas, el coste global puede situarse por encima de los 5 millones, llegando incluso a los 10 millones de euros en proyectos a gran escala. Este nivel queda reservado, en la práctica, a empresas de gran volumen como hemos visto (Amazon) que buscan maximizar el rendimiento unitario.

Capítulo 6. Conclusiones

El presente trabajo se planteó con el objetivo de analizar en profundidad los fundamentos técnicos y operativos del almacén tradicional, evaluar las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías de automatización y, finalmente, proponer un modelo de madurez aplicable a PYMES logísticas que facilite su transición hacia un entorno más eficiente, escalable y competitivo. A lo largo del estudio se ha comprobado que esta evolución no sólo es viable, sino que resulta imprescindible en muchos casos para asegurar la viabilidad de la empresa.

El análisis del almacén clásico ha permitido identificar una serie de ineficiencias estructurales que afectan tanto a la productividad como a los costes operativos. Cosas como la alta dependencia de la mano de obra y la limitada capacidad para absorber los picos de demanda hace que estas empresas sean sensibles a los cuellos de botella y tengan rendimientos poco óptimos. Las cifras recabadas evidencian que más del 50 % del coste operativo puede estar ligado directamente a la gestión manual, mientras que los tiempos improductivos por desplazamiento y búsqueda de las referencias superan en muchos casos el 30 % del ciclo operativo.

En este contexto, la automatización debe entenderse como una oportunidad progresiva de mejora al alcance de casi cualquier tipo de empresa. Ya que a través de soluciones como los sistemas AS/RS o los robots móviles autónomos (AMR), se puede generar un verdadero impacto en la reducción de errores, tiempos muertos y costes por unidad mediante la automatización del picking, el control en tiempo real del inventario y la optimización de rutas internas.

El estudio del caso de éxito de Amazon ha aportado una visión clara sobre los beneficios acumulados que han conseguido mediante la implantación estratégica de la automatización en su logística. A lo largo de los últimos años, la empresa ha logrado disminuir de forma considerable sus tiempos de procesamiento y preparación de pedidos mediante la adopción masiva de soluciones como Kiva, Sparrow o Sequoia.

Por otro lado, el Modelo de Madurez propuesto en este trabajo se ha diseñado precisamente teniendo a Amazon como referente. Se ha buscado que, mediante la estructura en 5 niveles, una empresa pequeña o mediana logre definir su situación actual en relación con la automatización de sus almacenes, teniendo en cuenta su grado de digitalización, como su organización interna como su integración

tecnológica. La incorporación de indicadores objetivos en cada etapa, algunos de ellos recogidos de estándares consolidados como los de WERC, contribuye a que el modelo pueda utilizarse no sólo como herramienta diagnóstica, sino también como marco de mejora continua.

Desde una perspectiva académica, este trabajo contribuye al ámbito logístico de dos maneras diferentes. Por un lado, consolida y sintetiza conocimientos actualizados en torno a las tecnologías de automatización, combinando fuentes de carácter técnico y empresarial. Por otro, introduce una herramienta propia, el Modelo de Madurez Logística, concebida específicamente para empresas de tamaño medio o pequeño, donde los modelos existentes son poco aplicables y precisos. Esta aportación adquiere valor especialmente en España, donde el 99.8% de las empresas son PYMEs.

No obstante, conviene señalar ciertas limitaciones del estudio que deben tenerse en cuenta a la hora de extrapolar sus conclusiones. La metodología empleada se ha basado exclusivamente en revisión documental y análisis secundario de datos. No ha habido trabajo de campo ni aplicación empírica directa del modelo propuesto. Tampoco se ha realizado una simulación técnica de flujos, ni un análisis económico detallado del retorno de inversión en escenarios reales. Ya que estos elementos estaban fuera del alcance del propio proyecto.

De cara a futuras investigaciones, existen diversas líneas de desarrollo que podrían ampliar el impacto práctico y académico de este trabajo. Un ejemplo de ampliación del trabajo sería la validación del Modelo de Madurez en un entorno real, como puede ser un supermercado regional, de esta manera se permitiría contrastar la utilidad del propio Modelo y afinar los indicadores propuestos.

Por último, este trabajo pretende subrayar una idea central, la automatización no debe verse como un salto disruptivo, sino como un proceso escalonado, modular y escalable. A diferencia de hace años, hoy en día existen gran variedad de soluciones técnicas y organizativas que permiten acercarse a la automatización de manera paulatina y controlada, reduciendo costes, mejorando el servicio al cliente y ganando capacidad de adaptación en entornos logísticos cada vez más exigentes. Esta mentalidad de progresión constante junto con una visión clara del estado actual en el que te encuentras es el primer paso para transformar el almacén clásico en un centro logístico automatizado.



Referencias

DataWare Soluciones (2024). ¿Qué es un WMS y por qué es importante para mi operación? <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-un-wms-y-por-importante-para-mi-operaci%C3%B3n-ytw1c/>

Colman Roche, 2025. <https://www.swisslog.com/en-us/case-studies-and-resources/blog/four-questions-to-determine-if-autostore-is-right-for-your-operation>

About Amazon. (2024). *Delivered with Care: Safety, Health, and Well-Being Report*. Retrieved Jul 3, 2025, from <https://safety.aboutamazon.com/>

Addverb. (2025, -03-11). WES Vs WMS Vs WCS: Las principales diferencias. <https://addverb.com/es/blog/wes-vs-wms-vs-wcs-key-differences/>

Amazon, Joseph Quinlivan, Vice President Fulfillment Technologies and Robotics at. (2023, -06-26). *How Amazon deploys collaborative robots in its operations to benefit employees and customers*. Retrieved Jun 24, 2025, from <https://www.aboutamazon.com/news/operations/how-amazon-deploys-robots-in-its-operations-facilities>

Ar racking. *Tipos de estanterías industriales para almacén | AR Racking*. Retrieved May 26, 2025, from <https://www.ar-racking.com/es/blog/tipos-de-estanterias-industriales-para-almacen-clasificacion-y-caracteristicas/>

ar racking. (2025). *Zonificación de mercancía en un almacén | AR Racking*. Retrieved May 26, 2025, from <https://www.ar-racking.com/es/blog/zonificacion-de-mercancia-en-un-almacen-claves-y-metodos/>

AZUMUTA. *El futuro de la industria europea, según Deloitte*. Retrieved May 24, 2025, from <https://www.azumuta.com/es/blog/deloittes-take-on-the-future-of-european-manufacturing/>

Beetrack. (2016, -09-29). *Automatización en la logística: lo que hay que tener en cuenta*. Retrieved Jun 23, 2025, from <https://www.beetrack.com/es/blog/automatizacion-en-la-logistica>

Celia Arroyo. (2025). ¿Cuánto cuesta construir una nave industrial? Precios por m2 en 2025. <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/construir-nave-industrial>

Cisneros, J. (2025a). *10 KPIS PARA UN CONTROL DE ALMACÉN EFICAZ*. Retrieved Jun 16, 2025, from <https://www.datadec.es/blog/10-kpis-para-un-control-de-almacen-eficaz>

Cisneros, J. (2025b). *8 FORMAS DE MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EXPEDICIÓN DEL ALMACEN*. Retrieved Jun 16, 2025, from <https://www.datadec.es/blog/formas-mejorar-productividad-expedicion-almacen>



DHL. (2025, -02-06). *The future of last-mile delivery: Trends to watch in 2025*. Retrieved Jul 2, 2025, from <https://www.dhl.com/discover/en-ph/small-business-advice/business-innovation-trends/2025-last-mile-delivery-trends-in-the-philippines>

Dónde ubicar un almacén logístico (2024, -02-07). <https://citylogin.es/ubicacion-almacen-logistico/>

Edison. (2025, -04-01). *The humanoid revolution walking your way: How robots are stepping out of science fiction*. <https://www.edisongroup.com/insight/the-humanoid-revolution-walking-your-way-how-robots-are-stepping-out-of-science-fiction/BM-1486/>

Element Logic. (2024a). *¿Cómo medir y controlar el Retorno de la Inversión (ROI) de un proyecto de automatización?* <https://www.elementlogic.net/cl/blogs/como-medir-y-controlar-el-retorno-de-la-inversion-roi-de-un-proyecto-de-automatizacion/>

Element Logic. (2024b). *Tecnologías Esenciales de Automatización para Almacenes*. <https://www.elementlogic.net/mx/blogs/tecnologias-esenciales-de-automatizacion-para-almacenes/>

Emilio Hidalgo Casati. (2007). *Proyecto Fin de Carrera. Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario*. <https://file:///C:/Users/21012/Downloads/I.-%20Principios%20de%20dise%C3%83%C2%B1o%20de%20almacenes.pdf>

Establish. (2025). *Guía de automatización de almacenes para todos los almacenes - Establish Inc*. Retrieved Jun 23, 2025, from <https://es.establishinc.com/supply-chain-blog/2024/1/31/3hl0f8d09zorvo7jrnvogxhbfuwywg>

Ezbuy. (2023). *The benefits of warehouse automation compared to manual warehouse operations | Ezbuy Japan*. Retrieved Jul 2, 2025, from <https://ezbuy.jp/en/blog/warehouse-automation-compared-with-manual-warehouse-operation>

FEDERICO, K. (2024, -07-10). *Tipos de almacenes: según naturaleza del producto*. <https://www.rajapack.es/blog-es/tipos-de-almacenes-clasificacion-y-caracteristicas>

Fynd. (2025). *WMS Software Costs: Pricing Models, Features, and ROI Breakdown*. Retrieved Jul 4, 2025, from <https://www.fynd.com/blog/warehouse-management-software-cost>

Gray, C. *How robots are building Amazon's future*. Retrieved Jul 3, 2025, from <https://www.humanityredefined.com/p/robots-at-amazon>

Greenawalt, T. (2024a, -10-09). *Amazon has more than 750,000 robots that sort, lift, and carry packages—see them in action*. Retrieved Jul 3, 2025, from <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-robotics-robots-fulfillment-center>

Greenawalt, T. (2024b, -10-09). *Amazon has more than 750,000 robots that sort, lift, and carry packages—see them in action*. Retrieved Jun 24, 2025,



from <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-robotics-robots-fulfillment-center>

Honeywell, W. (2018). *Which Metrics Matter Most to DC Operations*. Retrieved Jul 3, 2025, from <https://www.honeywell.com/us/en/news/featured-stories/2020/02/which-metrics-matter-most-to-dc-operations>

Jaime Mira Galiana. (2024). *Método FIFO y LIFO: Qué es y cómo se aplican en un almacén*. Retrieved May 26, 2025, from <https://blog.toyota-forklifts.es/fifo-lifo-doble-flujo-logistico>

JRM. (2023, -02-08). LAYOUT DE ALMACÉN: Diseño eficiente y sus beneficios - JRM | Sistemas de Almacenamiento %. <https://jrmsac.com.pe/disenio-eficiente-de-layout-de-almacen/>

Kembro, J., & Norrman, A. (2022). The transformation from manual to smart warehousing: an exploratory study with Swedish retailers. *The International Journal of Logistics Management*, 33(5), 107. <https://10.1108/ijlm-11-2021-0525>

MDM. (2024, -10-09). Study: U.S. Warehouse Costs Jumped 8.3% from 2022 to 2024. <https://www.mdm.com/news/research/economic-trends/study-u-s-warehouse-costs-jumped-8-3-from-2022-to-2024/>

Mecalux. *8 recomendaciones para optimizar el layout del almacén*. Retrieved May 24, 2025, from <https://www.mecalux.es/blog/optimizar-layout-almacen>

Mecalux. (2019). *Tipos de estanterías industriales para almacén*. Retrieved May 26, 2025, from <https://www.mecalux.es/blog/tipos-estanterias-industriales-almacen>

Mecalux. (2025). *Software de logística: diferencias entre WCS, WES y WMS*. Retrieved Jun 23, 2025, from <https://www.mecalux.com.mx/blog/software-logistica-wcs-wes-wms>

Miller, N. (2024, -09-30). Optimising Warehouse Pick Rates: A Guide. <https://impactexpress.co.uk/optimising-warehouse-pick-rates-a-guide/>

MVGM. (2023). *Publish Online*. Retrieved Jun 23, 2025, from <https://indd.adobe.com/view/172589d4-244d-452b-9ec3-602f3628d6ba>

Nova Racking. (2025). *¿Cuánto cuesta un almacén automatizado?* - NOVA. <https://es.novaracking.com/%C2%BFCu%C3%A1nto-cuesta-un-almac%C3%A9n-automatizado-id41895436.html>

Ofisis. (2024, -01-16). *5 errores comunes en el control de inventarios*. <https://ofisis.com.pe/blog/5-errores-comunes-en-el-control-de-inventarios/>

Pulpo WMS. *Almacén Convencional en la Logística Actual*. Retrieved May 28, 2025, from <https://blog.pulpowms.com/es/almacen-convencional>

Robotics, Scott Dresser, VP, Amazon. (2023, -10-18). *Amazon announces 2 new ways it's using robots to assist employees and deliver for customers*. Retrieved Jul 3, 2025, from <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-introduces-new-robotics-solutions>



Sergi Bardera. (2021). *Apilador eléctrico: cómo funciona y por qué es útil para su almacén*. Retrieved May 26, 2025, from <https://blog.toyota-forklifts.es/apilador-electrico-que-es-como-funciona-por-que-util-para-almacen>

Staff, A. (2022a, -12-13). *How Amazon is improving packaging and boosting sustainability*. Retrieved Jul 3, 2025, from <https://www.aboutamazon.com/news/sustainability/how-amazon-is-reducing-packaging>

Staff, A. (2022b, -06-21). *Look back on 10 years of Amazon robotics*. Retrieved Jun 24, 2025, from <https://www.aboutamazon.com/news/operations/10-years-of-amazon-robotics-how-robots-help-sort-packages-move-product-and-improve-safety>

Stone, M. *Amazon has more than 750,000 robots working in its fulfillment centers. Here are some of the things they can do*. Retrieved May 24, 2025, from <https://www.businessinsider.com/how-amazon-uses-robots-sort-transport-packages-warehouses-2025-2>

Stuckey, M. (2025, -07-01). *Essential KPIs for Eaches Picking Operations*. Retrieved Jul 3, 2025, from <https://pallitegroup.com/us/news/kpis-for-eaches-picking/>

TLW®, R. (2024, -08-21). *Diseño de Layouts de Almacén: Mejores prácticas para maximizar el espacio y la productividad*. <https://thelogisticsworld.com/almacenes-e-inventarios/disenio-layout-de-almacen-tipos-tecnologias/>

Toyota Forklifts. (2024). *¿Por qué la automatización en logística está en auge?* Retrieved Jun 23, 2025, from <https://toyota-forklifts.es/sobre-toyota/notas-de-prensa-noticias/por-que-la-automatizacion-en-la-logistica-esta-en-auge/>

Will Schneider. (2025). *3PL Warehousing Fees & Pricing: What You Pay for 3PL Fulfillment*. Retrieved Jul 3, 2025, from <https://www.warehousingandfulfillment.com/resources/fulfillment-services-costs-and-pricing/>